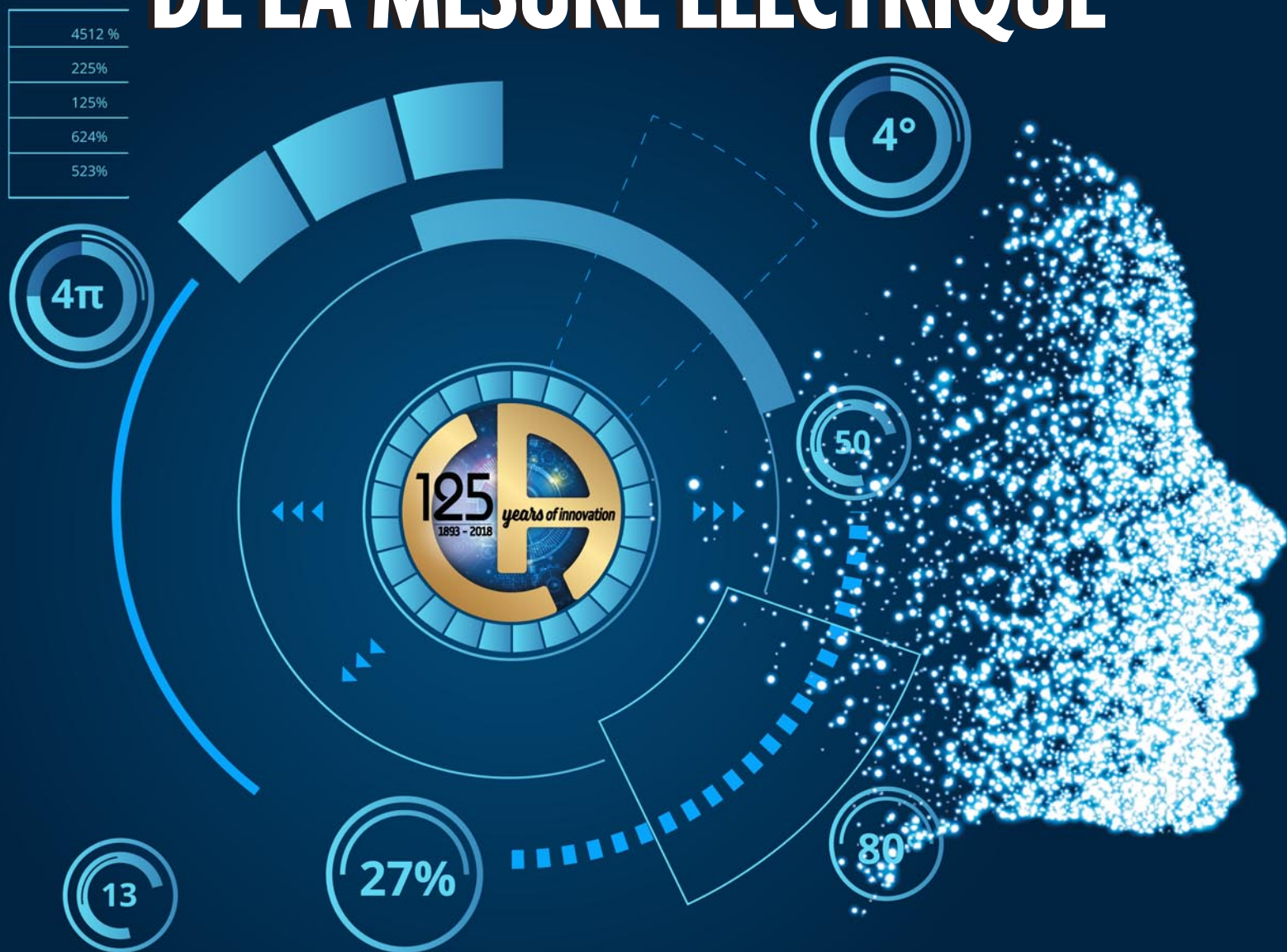


# Les Cahiers

de l'instrumentation

Le journal d'information pour l'enseignement de Chauvin Arnoux et Metrix

## L'ÉVOLUTION DE LA MESURE ÉLECTRIQUE



- La méthode d'identification paramétrique
- Un monde « SMART »
  - Véhicules électriques et bornes de charge
  - La nécessité des mesures dans un monde « Smart »

- Une évolution du mesurage, quand les capteurs deviennent virtuels
- TP : Capteurs logiciels
- Concours général des métiers de l'automobile



**AXEL ARNOUX**

Président du groupe Chauvin Arnoux

## “ CHAUVIN ARNOUX, 125 ANS DE CONCEPTIONS ET DE CRÉATIONS INNOVANTES ”

Nous fêtons cette année 125 ans d'existence depuis la création en 1893 par un de mes ancêtres, René Arnoux, de la société éponyme.

Du premier contrôleur universel inventé au début du siècle dernier à l'oscilloscope Scopix IV Metrix® qui ouvre cette année l'ère des appareils pour l'industrie connectée, ce sont plusieurs milliers d'innovations qui jalonnent l'Histoire du développement de la société Chauvin Arnoux. A la suite des deux passionnés de Sciences qu'étaient Raphael Chauvin et René Arnoux, les savoir-faire et l'exigence de la précision de la mesure électrique, se sont transmis de génération en génération pour consolider aujourd'hui Chauvin Arnoux et ses marques Metrix, CA Energy, Pyrocontrol, Manumasure, et récemment Indatech. C'est cette même volonté de transmission des compétences, des savoirs, de l'exigence de la précision de la mesure que l'on retrouve dans l'éducation. C'est pourquoi Chauvin Arnoux a tissé des liens étroits avec le milieu de l'Education Nationale et accompagne les acteurs de l'enseignement depuis de nombreuses années. En 2000, un club du mesurage voit le jour sous l'égide de l'inspection Général et réunit inspecteurs d'Académie, professeurs et compétences industrielles pour engager de véritables débats d'idées et d'échange de compétences entre les deux communautés « Ecole/Entreprise ».

La création de la revue rédigée en commun, **Les Cahiers de l'instrumentation** publiée depuis près de 20 ans permet aux enseignants de découvrir la synthèse des travaux pratiques réalisés en classe et des expérimentations de mesure concrétisées par les appareils de mesure Chauvin Arnoux. Notre implication, à vos côtés, à l'occasion de nombreux concours et événements éducatifs ; Olympiades des métiers, des Sciences de l'ingénieur, de partenariats, colloques, sponsorings, prêts d'appareils, nous permet de rester en contact avec les jeunes étudiants et ingénieurs en devenir et de participer à leur découverte des futurs métiers.

Dans la continuité, la création d'une certification Chauvin Arnoux pour accompagner les professionnels de demain a été mise en place en 2015 au travers d'un site web dédié aux étudiants et à leurs professeurs. Son objectif est de valider les acquis des élèves sur l'utilisation des instruments de mesure par l'intermédiaire d'un QCM en ligne destiné aux élèves du bac professionnels et BTS des filières électrotechnique, énergétique et maintenance.

Ce qui rend Chauvin Arnoux si différent sur le marché de la mesure, c'est cette conviction que la passion, le savoir-faire et les métiers de la mesure se transmettent d'une génération à l'autre, d'un professeur à l'étudiant, entre les femmes et les hommes qui ont fait la réussite de la société. Aujourd'hui Chauvin Arnoux est une société d'envergure internationale qui reste fière d'être avant tout un fabricant français. Nous exportons dans plus de 100 pays par l'intermédiaire de nos dix filiales implantées en Europe, Etats-Unis et Moyen-Orient. Nous perdurons à concevoir nos instruments de mesure et solutions énergétiques dans nos propres bureaux d'études, à fabriquer dans nos sites de production et à commercialiser nos gammes de produits par l'intermédiaire des 5 sociétés françaises qui portent nos marques et notre nom.

C'est un honneur et un plaisir de partager cet anniversaire de 125 ans d'innovations, de découverte, de passion avec vous, notre partenaire éducation.



## LES CAHIERS DE L'INSTRUMENTATION

Directeur de la publication :  
**Marlyne Epaulard**

Comité de rédaction :  
**Marie Courrière, Marlyne Epaulard,  
Pascal Bonnouvrier, Laurent Grignon**

Secrétaire de rédaction :  
**Laurent Grignon**

Revue d'informations techniques  
**Le Club du Mesurage**  
190, rue Championnet  
75876 Paris Cedex 18 - France  
Tél. : +33 1 44 85 44 20  
Fax : +33 1 46 27 07 48  
E-mail : info@leclubdumesurage.com  
Web : www.leclubdumesurage.com

Conception graphique, réalisation :  
**AD.Com**  
5 rue de Conflans  
94220 - Charenton-le-Pont  
Tél. : +33 (0)1 43 68 03 43

## LE CLUB 4

Présentation du Club 4

## MESURE ÉLECTRIQUE 5

L'évolution de la mesure électrique 5 - 11

## IDENTIFICATION PARAMÉTRIQUE 12

La méthode d'identification paramétrique 12 - 18

## UN MONDE « SMART » 19

Véhicules électriques et bornes de charge 19

TP : La nécessité des mesures  
dans un monde « Smart » 20 - 25

## ÉVOLUTION DU MESURAGE 26

Une évolution du mesurage,  
quand les capteurs deviennent virtuels 26 - 30

## MESURE INDIRECTE 31

TP : Capteur logiciels 31 - 33

## CONCOURS 34

Concours général des métiers  
de l'automobile 34 - 35

## GARDONS LE SOURIRE 36



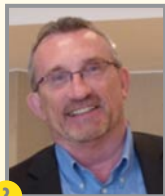
## LES MEMBRES DU BUREAU DU CLUB DU MESURAGE



1



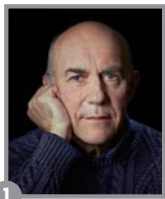
2



3



4



1



2



3



4



5



6



7



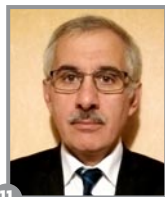
8



9



10



11



12

### ÉQUIPE CHAUVIN ARNOUX

#### 1 - MARIE COURRIÈRE

Présidente du « Club du Mesurage »  
Responsable marché Education Nationale -  
Chauvin Arnoux  
marie.courriere@chauvin-arnoux.com

#### 2 - MARLYNE EPAULARD

Directeur Communication du groupe - Chauvin Arnoux  
marlyne.epaulard@chauvin-arnoux.com

#### 3 - PASCAL BONNOUVIER

Directeur Commercial France - Chauvin Arnoux  
pascal.bonnouvrier@chauvin-arnoux.com

#### 4 - LAURENT GRIGNON

Responsable Communication - Chauvin Arnoux  
laurent.grignon@chauvin-arnoux.com

#### Les cahiers de l'instrumentation, renseignement pratique.

Si vous désirez recevoir les prochains numéros,  
renvoyez rapidement le bulletin d'abonnement  
gratuit encarté au centre de la publication. Pre-  
nez contact avec nous si vous désirez réagir par  
rapport aux articles publiés, proposer des sujets  
ou même des articles. Bonne lecture à tous.

[www.leclubdumesurage.com](http://www.leclubdumesurage.com)

### PARTENAIRES DE L'ENSEIGNEMENT

#### 1 - CLAUDE BERGMANN

Président d'honneur du "Club du Mesurage" - Inspecteur Général de l'Education Nationale  
Sciences et Techniques Industrielles

#### 2 - CHRISTIAN CAGNARD

Inspecteur Pédagogique Régional honoraire - Consultant Expert Education

#### 3 - JEAN-PAUL CHASSAING

Président d'honneur du "Club du Mesurage" - Inspecteur Général honoraire  
Sciences et Techniques Industrielles

#### 4 - JEAN-PIERRE COLLIGNON

Inspecteur Général de l'Education Nationale - Sciences et Techniques Industrielles

#### 5 - ÉRIK ETIEN

Professeur IUT POITIERS, DUT Génie Electrique et Informatique Industriel  
et License Professionnel Gestion de l'Energie Electrique – Eco Efficacité Énergétique

#### 6 - RÉDA FARAH

Inspecteur de l'Education Nationale - Enseignement Technique  
Sciences et Techniques Industrielles - Académie de Paris

#### 7 - LUC PRINCE

Inspecteur de l'Éducation Nationale - Enseignement Technique  
Sciences et Techniques Industrielles - Académie de Versailles

#### 8 - PATRICK LEFORT

Inspecteur Pédagogique Régional honoraire - Sciences et Techniques Industrielles

#### 9 - GEORGES MICHALESKO

Ancien Directeur de l'IUT de Cachen

#### 10 - CHRISTOPHE MULLER

Inspecteur de l'Education Nationale Second degré - Enseignement technique - Académie de Nancy-Metz

#### 11 - CLAUDE POJOLAT

Inspecteur de l'Education Nationale – Sciences et Techniques Industrielles - Académie de Clermont Ferrand

#### 12 - SAMUEL VIOLLIN

Doyen du groupe  
Inspecteur Général de l'Education Nationale - Sciences et Techniques Industrielles

## L'ÉVOLUTION DE LA MESURE ÉLECTRIQUE

Marketing Chauvin Arnoux

Parler de l'évolution de la mesure électrique ne peut se faire sans évoquer l'histoire de l'électricité dans le temps, car si l'électricité statique obtenue par frottement ou la foudre sont connus depuis l'antiquité, de nombreuses étapes ont été nécessaires avant de maîtriser et de mesurer les grandeurs électriques.

### UN PEU D'HISTOIRE...

Au XVIII<sup>ème</sup> siècle, les phénomènes sont décrits mais pas encore expliqués. Le **mètre étalon** est créé et le système métrique décimal est institué par la loi "relative aux poids et mesures".

Ce n'est vraiment qu'au XIX<sup>ème</sup> siècle que les choses vont changer. L'électricité étant immatérielle et impalpable, ce n'est qu'au travers de nombreuses expérimentations que les principes physiques mis-en-œuvre vont pouvoir être expliqués, quantifiés et mis en équation. En inventant la **pile**, dès 1800, **Volta** apporte le nécessaire, une source d'électricité. C'est Hans Christian Ørsted qui, le premier, observa le déplacement de l'aiguille aimantée d'une boussole en présence d'un courant circulant dans un fil.



Galvanomètre

Dans la foulée, Johann Salomo Christoph Schweigger créa le premier multiplicateur électromagnétique appelé par la suite **galvanomètre**, en honneur du physicien italien GALVANI. Au même moment un appareil similaire est développé par André-Marie Ampère qui avec l'**ampèremètre** définit la première unité de courant électrique et passe à la postérité.

La mise-en-œuvre de l'électricité dans les communications (télégraphe, téléphone) puis dans la production de lumière, de chaleur, dans la chimie (catalyse, électrolyse, ...) ou comme énergie mécanique, demande toutefois quelques décennies car, parallèlement, des avancées dans la production des fils électriques, des matériaux magnétiques, des isolants, des métaux et dans leurs usinages sont nécessaires.

Fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, l'électricité arrive dans les foyers et l'industrie vit une nouvelle révolution ; en 1893 naît « **Chauvin & Arnoux** », concepteurs et fabricants français d'appareils de mesure; les appareils sont alors de véritables pièces d'horlogerie, mécaniques de précision équipées de grands afficheurs à aiguilles. **Analogiques**, ils offrent déjà des **performances métrologiques** d'un très haut niveau mais leur conception et leur utilisation limitent leurs usages. L'**Exposition Universelle de 1900** à Paris est une véritable vitrine de l'état de l'art (voir 1 et 2).

En laiton, cuivre et bois, équipés de grands galvanomètres à aiguilles et de graduations réalisées à la main sur le cadran avec une plume, en 125 ans, les appareils de mesure **Chauvin Arnoux** ont bien changé.

Avec, la **Bakélite** (1909), première matière plastique isolante et thermoformable, la conception et la fabrication industrielle de boîtiers, de boutons, de connectiques et autres, ont été possibles. Plus léger, moins cher à fabriquer, isolé électriquement, l'appareil de mesure se démocratise et devient transportable.

L'invention du **transistor** (1947), permettant d'amplifier ou d'atténuer un signal au moyen d'un petit composant solide, sera à l'origine de tous les composants électroniques que nous utilisons pour mettre en forme, adapter, convertir, visualiser les signaux mesurés : une nouvelle génération d'**appareils de mesure analogiques** compactes, portables, multi-calibres, et multifonction avec un sélecteur unique voit alors le jour. Le **contrôleur universel MONOC** (1959), sera ainsi pour de nombreux électriciens le multimètre analogique de référence... L'amplificateur opérationnel intégré (1962), linéaire, permettra de simplifier la conception et la réalisation des circuits de mesure analogique ; comparateur, sa sortie 2 états permet la commande, l'activation. Nous avons là les prémises de l'**électronique numérique**.

[1] Le 13<sup>ème</sup> Fascicule intitulé « Instruments de mesure électrique » situé à partir de la page 147 du Tome II du recueil « L'Électricité à l'Exposition de 1900 » par E.Hospitalier et J.-A Montpellier, Edition Ch.Dunod 1902 ». <https://archive.org/details/lelectricitelexp03hosp>.

[2] L'article « Les appareils de mesures électriques à l'exposition. Sections étrangères » par H.Armagnat à partir de la page 165 du recueil pour l'année 1901 du « Journal de physique théorique et appliquée ». C. Tome 10. <http://iris.univ-lille1.fr/handle/1908/1520>  
<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00240495>



## L'AVÈNEMENT DE L'ÉLECTRONIQUE NUMÉRIQUE

Les premiers **processeurs et microcontrôleurs** datent du début des années 70, mais il faudra attendre quelques années pour pouvoir intégrer la technologie numérique dans les premiers appareils de mesure. Les pattes de connexion sur les circuits intégrés sont alors espacées de 2,54 mm (1/10 de pouce) et il n'était pas encore possible d'implanter plusieurs millions de composants élémentaires sur une surface de quelques millimètres carrés comme actuellement.

Les **innovations se sont alors multipliées** tirant partie des multiples nouveaux composants mis sur le marché.

### Elles ont notamment permis :

- D'améliorer les dynamiques de mesure avec des pas de quantification extrêmement fins
- D'effectuer des opérations numériques de plus en plus complexes mono valeur (mise à l'échelle – changement d'unité – valeur efficace – valeur crête/Min/Max – valeur relative, des filtrages numériques...)
- De déterminer par calcul numérique des grandeurs secondaires à partir de plusieurs grandeurs primaires mesurées (Puissance – Energie...)
- De passer du domaine temporel au domaine spectral (décomposition harmonique – FFT)
- De comparer les mesures à des valeurs de seuil et de poser des diagnostics
- De mémoriser ponctuellement ou en continu les grandeurs mesurées et les restituer à l'utilisateur via l'IHM ou par des canaux de communication intégrés.
- D'offrir des restitutions de mesure sous formes numériques et graphiques de plus en plus performantes en qualité et en contenu incluant des symboles et aide en ligne multi-langues.

En complément, pour les appareils communicants, des solutions logicielles sont proposées afin d'exploiter, d'analyser, de mettre en forme les mesures et de les commenter afin de réaliser des rapports de mesure.

## DU TEKTRONIX 545A AU SCOPIX IV OX9304... EN 50 ANS, UNE ÉVOLUTION À TOUS LES NIVEAUX ! (3)



Hier



Aujourd'hui

- Le premier disposait de **2 voies** de mesure avec une **bande passante de 50 MHz**, pesait environ **30 kg** pour un volume de 85 litres. Assez peu adapté pour la mesure sur le terrain à moins de disposer d'un grand coffre pour le transporter, de muscles pour le porter, d'un cahier pour noter les mesures et d'une prise secteur proche pour l'alimenter.

- Le second, le **Scopix IV OX 9304**, dispose de **4 voies** de mesure isolées avec une **bande passante de 300 MHz**, il pèse à peine **2.2 Kg** pour un volume de 4 litres. Il se transporte dans un sac, fonctionne sur batterie avec une autonomie de 8h dispose de mémorisation et de canaux de communication (Ethernet & Wifi). Il peut être piloté à distance.

Ces évolutions ont sans aucun doute amélioré très significativement l'emploi de ces appareils de mesure que ce soit en termes d'ergonomie (facilité et confort d'usage), de sécurité ou de performances techniques. La compacité la robustesse et la fiabilité des dernières générations sont sans commune mesure avec celles des équipements de mesure des décennies précédentes.

L'ensemble de ces avancées ont eu pour objectif de proposer des solutions de mesure qui répondent aux attentes de fiabilité, d'efficacité et de simplicité des personnes en charge de réaliser ces opérations.

Les évolutions ne sont pas terminées...

(3) Tiré d'un article de Gunnar Englund

## CAPTEURS, MÉMOIRE, APPAREILS COMMUNICANTS ET CONNECTÉS, DES ÉVOLUTIONS AU SERVICE DE LA MESURE

De la résistance au transistor, du circuit intégré au microprocesseur en passant par les convertisseurs, les composants électroniques sont nombreux et les progrès significatifs réalisés dans ce domaine en termes de performances, de miniaturisation et de réduction de coût, permettent aujourd'hui aux fabricants ayant recours à ces composants de proposer régulièrement des produits aux fonctions de plus en plus performantes. Les **instruments de mesure** n'échappent pas à cette règle et le profit de cette évolution accélérée se caractérise à plusieurs niveaux.

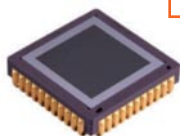
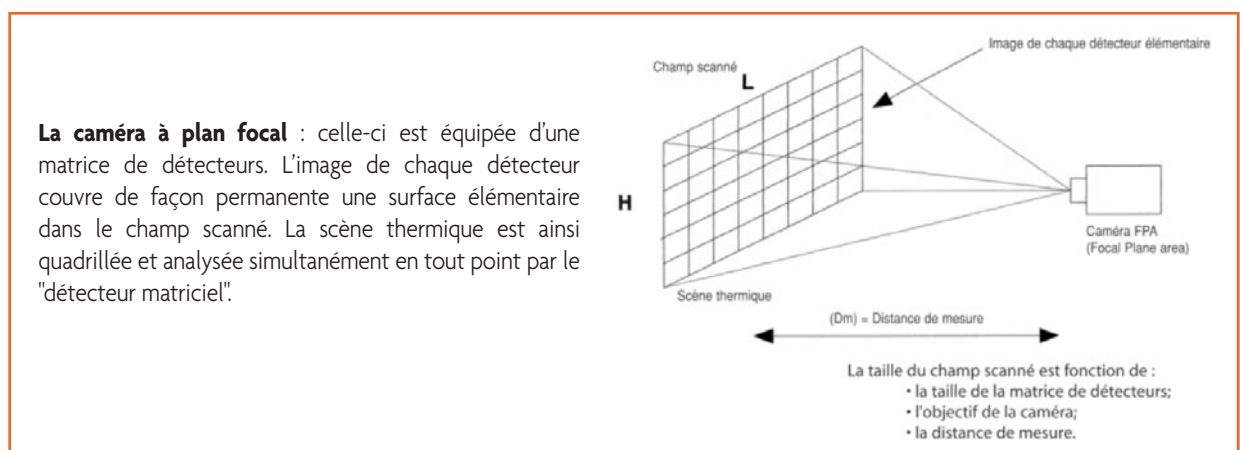
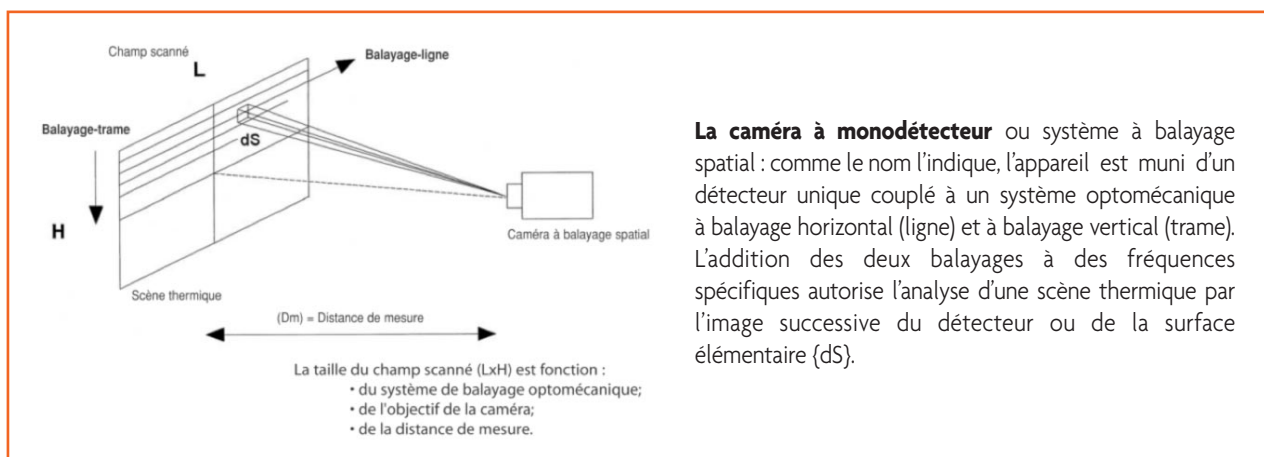
### Vers une évolution des capteurs

Qu'il s'agisse de mesurer la **température, l'humidité, ou encore la concentration d'un gaz**, le spectre de **technologies de capteurs** est très vaste. Un dénominateur commun réside aujourd'hui vers une **miniaturisation de ces capteurs** rendant possible aujourd'hui des mesures multi paramètres sur des produits portatifs de petite taille.



Le **CA 1510** illustre véritablement cette évolution grâce à son premier capteur optique de type NDIR (Nondispersive Infrared Sensor) pour la **mesure de CO<sub>2</sub>** et son capteur de type CMOS d'environ 9 mm<sup>2</sup> pour la **mesure de température et d'humidité relative**.

Autre aperçu de l'évolution des capteurs dans le domaine de la mesure : celui de l'imagerie thermique qui a profondément évolué du fait de la transition des caméras à mono détecteur reposant sur des systèmes à balayage spatial vers l'utilisation de capteurs matriciels.



Exemple de détecteur matriciel employé dans les caméras thermiques



# Évolution de la mesure

Cette évolution permet notamment à la **dernière génération de caméras matricielles** d'être particulièrement compacte, robuste et autonome.



Avant



Aujourd'hui

**C.A 1954**  
**détecteur 160 x 120**

## VERS DES PRODUITS DOTÉS DE MÉMOIRE



Historiquement, la seule possibilité pour un opérateur de retenir une valeur mesurée à un instant précis était de recourir à un transfert sur papier avec tous les inconvénients associés : perte de temps, risque d'erreur lors de la saisie, etc...

Naturellement les instruments de mesure se dotent désormais de mémoire permettant notamment des enregistrements horodatés facilitant ainsi l'archivage des données et la rédaction de rapports.

A l'image des instruments de l'offre de mesure d'environnement de **Chauvin Arnoux**, les enregistrements peuvent être manuels ou programmés (date de début et d'arrêt, cadence d'enregistrement ainsi qu'un éventuel déclenchement sur alarme).

Le récent **thermomètre C.A 1821** dispose d'une capacité d'1 millions de points ainsi qu'une autonomie de 3 ans pour un enregistrement toutes les 15 minutes.

Le **logiciel Data Logger Transfer**, pour sa part, permet la récupération des données, la visualisation ainsi qu'une génération automatique de rapports.

**Configuration des instruments connectés**  
**Programmation des enregistrements et alarmes**  
**Capture et affichage des données en temps réel**

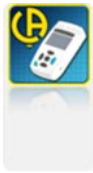
**Création automatique de rapports**

**Exportables au format Word**  
**L'édition et l'archivage sont ainsi simplifiés**



## VERS DES PRODUITS COMMUNICANTS

Cette dernière décennie se traduit également par une connectivité des instruments de mesure.



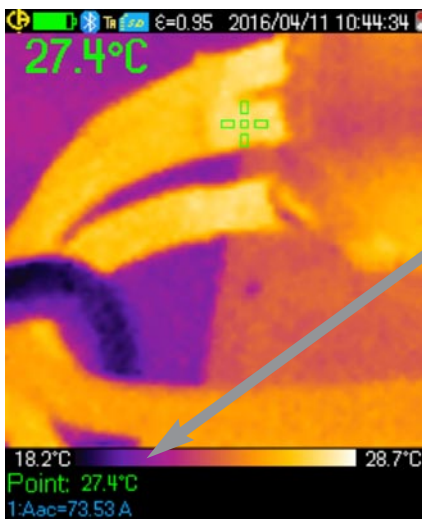
Cette connectivité permet notamment aux produits d'être utilisés avec des **tablettes** ou **smartphones** pour des traitements et exploitation directe des données sur le terrain, la récupération de données GPS, ajout de commentaires, etc... Ces applicatifs peuvent également contribuer à améliorer la traçabilité et l'archivage des mesures. Chauvin Arnoux met à disposition pour les produits compatibles des applicatifs Android performants.

Grâce à la **connectivité des instruments**, des mesures périphériques peuvent être immédiatement disponibles afin d'opérer des corrections d'influence ou tout simplement pour faciliter l'analyse post-traitement et faciliter l'analyse.



C'est le cas des caméras thermiques **C.A 1950** et **C.A 1954** qui communiquent avec les **pincés multimètres F 407** et **607**. En effet, dans le cadre d'inspections électriques, les mesures d'intensité sont importantes pour corréler les informations de température et de niveau de charge et permettent d'identifier certains défauts (isoler un problème de serrage, d'un déséquilibre de charge si les mesures sur les trois phases sont identiques).

Au lieu d'une saisie manuelle sur papier renseignée à postériori au rapport, l'intérêt est de pouvoir récupérer les données d'intensité des pincés pour les associer au thermogramme.



Ex. ici où la température affichée correspond à une intensité au moment de la mesure de 73,5A



Ex. la caméra C.A 1954 communiquant avec une pince F 407



Ex. la caméra C.A 1954 communiquant avec le C.A 1246 (thermo-hygromètre)



## LES OBJETS CONNECTÉS : UNE RÉVOLUTION EN COURS...

Les produits présentés proposent à l'utilisateur une lecture directe sur le produit. Cf numéro précédent des **Cahiers de l'instrumentation** sur l'essor de la nouvelle génération d'objets nomades qui est capable de communiquer à distance par des technologies sans fil pour se connecter sur des réseaux d'informations numériques.

Nommés « **objets connectés** » et les réseaux baptisés **IOT** (Internet Of Things), ils s'implantent dans tous les secteurs et s'inscrivent dans l'évolution logique des instruments de mesure. Leur utilisation se développe très rapidement et leur nombre devrait atteindre **50 milliards d'objets connectés en 2020 selon CISCO**.



## LABCOM IONESCO : L'INNOVATION POUR PRÉPARER L'AVENIR



Les objectifs du **Labcom Ionesco** (université de Poitiers) sont la recherche et le développement de fonctionnalités innovantes dans le domaine de la **mesure des consommations et de la qualité de l'énergie dans l'industrie**.

Les innovations visées permettront d'enrichir l'information (mesures) donnée par les appareils de mesure à l'opérateur. Elles s'appuient sur le concept de capteur intelligent.

### Que se cache derrière ce concept ?

Traditionnellement, l'utilisateur réalise des mesures « directes », tensions et courants dans les applications concernées par ces travaux. L'appareil de mesure délivre les valeurs de ces mesures (valeurs des tensions et courants) ainsi que des grandeurs issues de ces mesures directes (Puissance, Energie, Harmoniques,...).

L'utilisateur analyse ces valeurs tout en intégrant l'environnement (contexte – objet mesuré – installation électrique) en faisant appel à ses connaissances. Cette réflexion lui permet de poser un diagnostic qui constitue la finalité du mesurage.

Il s'avère donc que cette prise en compte du contexte est souvent délicate à réaliser et nécessite des investigations complémentaires.

Hors, dans un certain nombre de cas, il est possible d'intégrer au sein de l'appareil de mesure une base de connaissances qui au travers d'un traitement logiciel adapté, va délivrer à l'utilisateur des informations (valeurs indirectes) en même temps que les mesures directes.

### Quelles sont les avantages de cette nouvelle approche ?

- Soulager l'utilisateur et ainsi optimiser son processus de décision (diagnostic).
- Réduire le nombre de paramètres à mesurer certains d'entre eux pouvant être déduits des mesures directes à partir du moment où le contexte est connu.
- Atteindre des mesures de façon indirecte dans les cas où l'accès aux mesures électriques n'est pas possible (pour des raisons d'installation et/ou de sécurité électrique).
- Identifier des caractéristiques spécifiques (profilage) des consommations électriques dans le but de connaître l'enchaînement temporel des mises en fonctionnement ou hors fonctionnement des différents équipements alimentés par un départ électrique.

# Évolution de la mesure

Tout ceci constituera une réponse significative vis-à-vis des difficultés rencontrées actuellement lors de la recherche de solutions de réduction de la consommation électrique.

Des preuves de concept sont proches pour certaines applications, pour d'autres les travaux de recherche débutent tout juste. Ils devront être testés en robustesse dans des contextes étendus avant de les implémenter dans les appareils de mesure.

Au sein du **Groupe Chauvin Arnoux**, au-delà des applications de mesure destinées à l'efficacité énergétique, d'autres exemples de mesures basées sur une base de connaissance sont mis-en-œuvre. Ainsi, dans les mesures par **spectromètres** de **Chauvin Arnoux Indatech**, la détermination de valeurs recherchées est obtenue par des méthodes tout aussi innovantes.



*Tellus : analyseur de grains Chauvin Arnoux Indatech*

Prenons l'exemple de la **mesure de taux de protéine d'une céréale**. La méthode conventionnelle consiste à broyer la céréale, puis par un processus de préparation chimique précis il est possible de mesurer cette valeur. L'inconvénient majeur de ce processus est qu'il est long, complexe et totalement inadapté à l'obtention quasi-instantanée du résultat dans un environnement hors laboratoire, et pourtant la protéine de certaines céréales doit être mesurée dès la récolte.

La détermination instantanée est possible au travers du relevé du spectre d'absorption de la céréale et d'un traitement statistique (régression multivariée ex : PLS) sur une large base de spectres de ce même type de céréale pour lesquelles la valeur de la protéine est connue.

On peut ainsi trivialement dire que l'appareil de mesure détermine la valeur « probable » du taux de protéine en exploitant la base de connaissance constituée des spectres de référence. Outre l'approche totalement indirecte de ce type de mesure, il est à noter que du fait même des concepts employés, les **performances métrologiques** s'expriment de façon statistique et non plus déterministe.

Dans ces différentes illustrations, nous voyons combien, grâce au progrès scientifiques et technologiques, les appareils de mesure intègrent de plus en plus d'intelligence.

## UN LABCOM, C'EST QUOI ?

Les « Labcom » sont un dispositif lancé depuis plusieurs années par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) pour favoriser les connexions entre les PME et les Universités.

**Chauvin Arnoux participe à une de ces cellules de recherche.**

L'objectif du laboratoire commun (Labcom) IONESCO est de mettre en place une feuille de route « recherche et innovation » entre l'équipe Automatique et Systèmes (A&S) du Laboratoire d'Informatique et d'Automatique pour les Systèmes (LIAS) de l'Université de Poitiers et la société Chauvin Arnoux afin d'offrir de nouvelles fonctionnalités aux appareils de mesure produits par la société en incluant des modèles de connaissance des environnements industriels dans lesquels ils sont utilisés.

## IDENTIFICATION PARAMÉTRIQUE

*Claude Bergmann*

*Président d'honneur du "Club du Mesurage"  
Inspecteur Général de l'Éducation Nationale  
Sciences et Techniques Industrielles*

Les systèmes linéaires peuvent être identifiés à partir de modèles de comportement par des méthodes graphiques (Broïda, Strejc) établies pour une entrée en échelon. Ces méthodes ne permettent pas une bonne précision des résultats mais sont suffisantes pour définir le paramétrage d'un correcteur. Une autre méthode peut être mise en œuvre, la méthode des moindres carrés qui offre une solution analytique mais qui reste très sensible aux bruits de mesures. Une autre méthode est la méthode du modèle qui est moins sensible aux bruits de mesures, mais plus difficile à implanter car la solution doit être calculée numériquement et optimisée à partir du calcul du gradient de l'erreur. Sur ce même principe, il est possible de mettre en œuvre la méthode du modèle sous une forme récursive qui se prête particulièrement à une implantation sur un ordinateur.

La définition de la loi de commande d'un système demande un modèle mathématique qui traduise le comportement dynamique du procédé (voir figure 1). Il est souvent difficile d'obtenir un modèle dynamique compte tenu de la complexité du modèle de connaissance qui peut être partiellement ou entièrement inconnu. Parfois le modèle de connaissance est trop complexe pour définir une loi de commande (complexité, non linéarité, etc.). La réduction du modèle de connaissance est une bonne solution pour atteindre la définition d'un modèle de comportement. Pour ce faire, il est nécessaire de linéariser le modèle de connaissance autour d'un point de fonctionnement à partir des mesures effectuées sur le système.

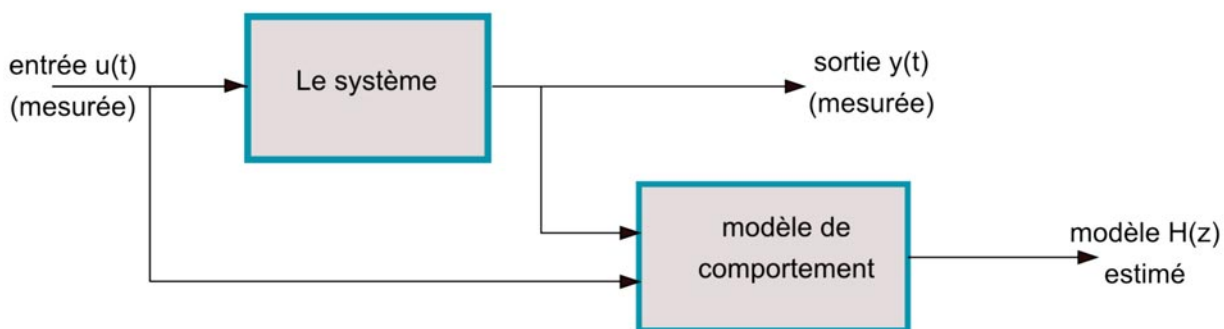


Figure 1 - Principe de l'identification paramétrique

La structure des modèles mathématiques estimés dépend de la connaissance des modèles du système à commander. Nous pouvons définir trois situations :

- La boîte blanche : le modèle de connaissance est parfaitement connu et les paramètres du modèle sont définis à partir des grandeurs mesurées sur le système.
- La boîte grise : le modèle de connaissance est partiellement connu et les données inconnues sont reconstituées à partir des données mesurées.
- La boîte noire : le modèle de connaissance est ignoré, un modèle de comportement est défini à partir des entrées et sorties mesurées.

## 1 - CAS DE LA BOÎTE BLANCHE

Dans le cas de la boîte blanche, l'identification des paramètres du modèle de connaissance peut se faire par des méthodes directes, par de petites variations autour d'un point de fonctionnement, dans le domaine temporel (réponse indicielle), ou bien dans le domaine fréquentiel (diagramme de Bode). Dans le cas de la réponse indicielle, il est possible d'identifier des systèmes avec ou sans retard, du 1er ordre, 2<sup>ème</sup> ordre avec ou sans dépassement. Pour un ordre supérieur à 2, il est plus facile de travailler dans le domaine fréquentiel avec des méthodes d'identification plus performantes. La figure 2 présente un exemple d'identification à partir de la réponse indicielle d'un système d'ordre 2, faiblement amorti et retardé. Les paramètres à identifier sont le coefficient d'amortissement  $\zeta$ , la pulsation propre  $\omega_n$  et le retard  $\tau$ .

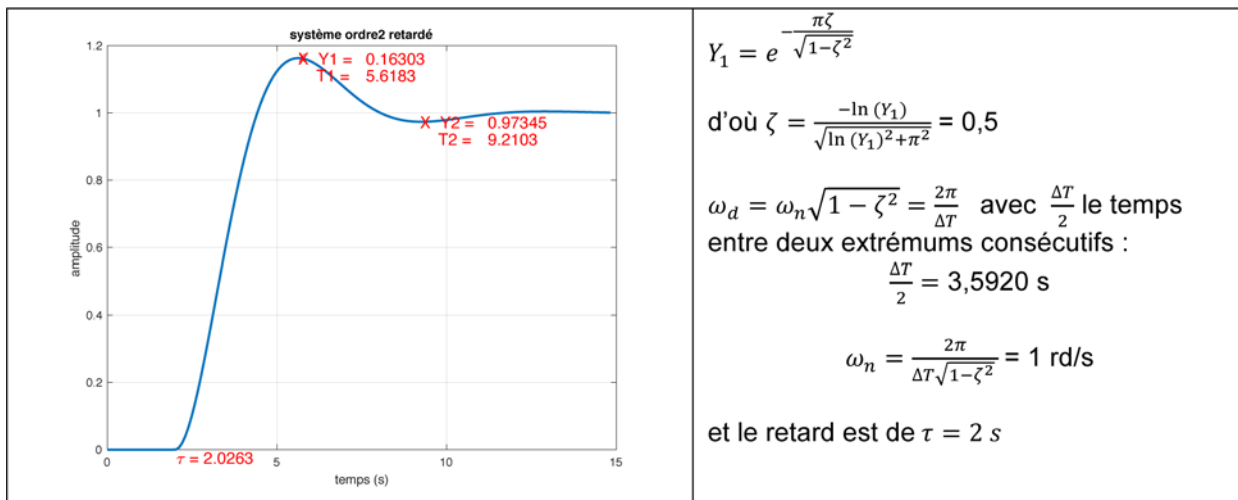


Figure 2 - réponse indicielle d'un système d'ordre 2, retardé

Un exemple est montré à la figure 3, il s'agit d'un système d'ordre 3 (filtre de Butterworth) dont on ne peut mesurer que des grandeurs échantillonnées : l'entrée  $u(nT_e)$  et la sortie du filtre  $y(nT_e)$ ,  $T_e$  est le pas d'échantillonnage constant. La fonction de transfert échantillonnée du filtre est  $H(z^{-1})$ :

$$\text{Soit } H(z^{-1}) = \frac{y(z^{-1})}{u(z^{-1})} = \frac{a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_3 z^{-3}}$$

D'où l'équation récurrente :  $y_n = -b_1 y_{n-1} - b_2 y_{n-2} - b_3 y_{n-3} + a_1 u_{n-1} + a_2 u_{n-2} + a_3 u_{n-3}$

ou bien sous une forme matricielle :  $[Y] = [\Phi][\Theta]$  à l'instant  $t = NT_e$

avec la matrice régresseur :  $[\Phi] = \{-[Y]_1^t - [Y]_2^t - [Y]_3^t + [U]_1^t + [U]_2^t + [U]_3^t\}$

et le vecteur paramétrique :  $[\Theta]^t = [b_1, b_2, b_3, a_1, a_2, a_3]$

$$[Y]_1^t = [y_3 \ y_4 \ \dots \ y_{N-1}] \quad [U]_1^t = [u_3 \ u_4 \ \dots \ u_{N-1}]$$

$$[Y]_2^t = [y_2 \ y_3 \ \dots \ y_{N-2}] \quad [U]_2^t = [u_2 \ u_3 \ \dots \ u_{N-2}]$$

$$[Y]_3^t = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_{N-3}] \quad [U]_3^t = [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_{N-3}]$$

$$[Y]^t = [y_4 \ y_5 \ \dots \ y_N]$$

le calcul des paramètres est donné par le calcul de la matrice pseudo inverse :

$$[\Theta] = \{[\Phi]^t [\Phi]^t\}^{-1} [\Phi]^t [Y]$$



# ID paramétrique

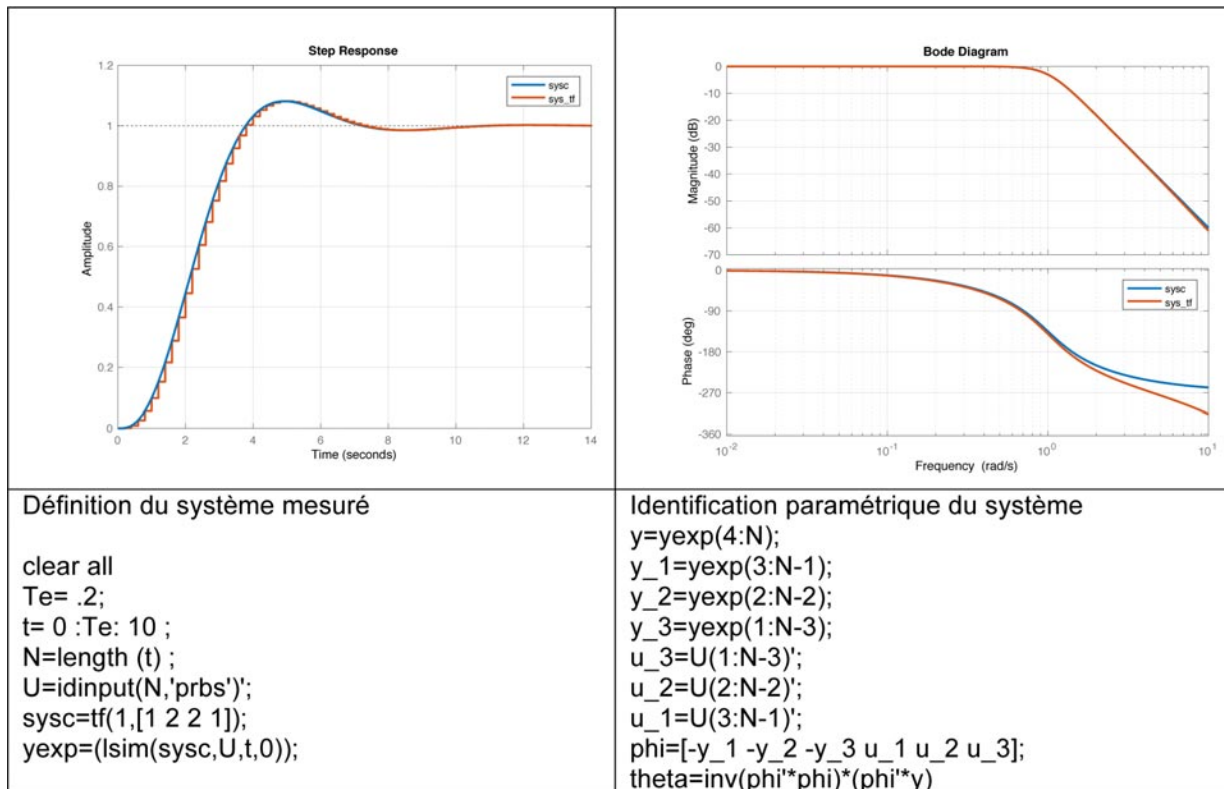


Figure 3 – identification d'un système du 3<sup>ème</sup> ordre

Sur la figure 3 (à gauche), nous pouvons constater une bonne concordance entre le modèle linéaire continu à identifier (sysc) et le modèle mathématique identifié (Sys\_tf). A droite, nous avons une comparaison dans le domaine fréquentiel, nous pouvons également constater une bonne concordance sur le module de la fonction de transfert, l'écart sur la phase apparaît au voisinage de la fréquence d'échantillonnage. Cette limite fixe le domaine de validité du modèle et montre également la prise en compte de la période d'échantillonnage dans l'élaboration du modèle.

## 2 – CAS DE LA BOÎTE GRISE

La boîte grise correspond généralement à un système pour lequel le modèle de connaissance est connu, par contre toutes les grandeurs ne sont pas mesurables et il est nécessaire de reconstituer ces grandeurs à partir des grandeurs mesurées. La reconstitution des grandeurs non mesurées se fait grâce à un modèle mathématique implanté dans un observateur.

### 2.1- LA MÉTHODE DES MOINDRES CARRÉS.

Le principe de la méthode des moindres carrés (Gauss), est de proposer les paramètres d'un modèle qui minimisent l'erreur quadratique entre les valeurs observées sur le système physique et les valeurs estimées obtenues par le modèle. Cette méthode peut être illustrée dans un premier exemple : la régression linéaire. À partir des mesures observées sur un système linéaire  $[y_m]$  (figure 4), il s'agit de chercher la valeur du coefficient directeur de la droite qui assure une erreur minimale par rapport aux valeurs du modèle estimé :

$$[y_m] = a [x] + b$$

a et b sont les paramètres à estimer contenus dans le vecteur  $\theta = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$ ,  $[y_m] = [\Phi][\theta]$

L'erreur quadratique se définit par le critère  $J(\theta) = \frac{1}{2} [y - [\Phi][\theta]]^t [y - [\Phi][\theta]]$ .

La solution est donnée par l'annulation de la dérivée matricielle de  $\frac{\delta J(\theta)}{\delta \theta} = 0$ .

$$[\Phi]^t [y] = [\Phi]^t [\Phi][\theta] \text{ soit } [\theta] = \{[\Phi]^t [\Phi]\}^{-1} [\Phi]^t [y]$$

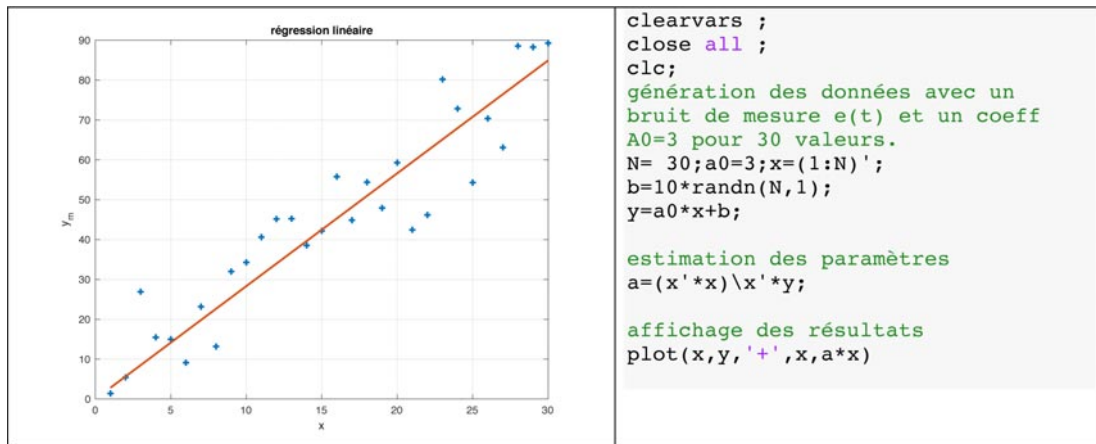


Figure 4 – Identifier la valeur du coefficient directeur d'une série de mesures

Sur la figure 4, nous voyons la droite (en rouge) qui minimise les erreurs quadratiques des écarts entre les mesures et la droite identifiée.

## 2.2 – IDENTIFICATION D'UN SYSTÈME LINÉAIRE DU 1<sup>ER</sup> ORDRE

Le système linéaire du 1<sup>er</sup> ordre se caractérise par son gain statique  $K$  et une constante de temps  $\tau$ . L'objectif est d'appliquer la méthode des moindres carrés sur des signaux de commande quelconque par exemple un signal aléatoire ou bien sinusoïdal à fréquence variable ('chirp') et de ne pas se limiter à un signal échelon.

Le système linéaire est échantillonné avec une période  $T_e$ , il est commandé au travers d'un bloqueur d'ordre 0. La fonction de transfert du système linéaire du 1<sup>er</sup> ordre échantillonné est décrite par sa transformée en  $z$  :

$$\frac{y(z)}{u(z)} = \frac{b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1}}$$

d'où l'équation récurrente :  $y_n = -a_1 y_{n-1} + b_1 u_{n-1}$

Les paramètres à identifier sont :  $[\theta] = \begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \end{bmatrix}$

le vecteur des mesures  $[H]$  se définit par :  $[H] = \begin{bmatrix} -y_0 & u_0 \\ \dots & \dots \\ -y_{N-1} & u_{N-1} \end{bmatrix}$

et le vecteur des mesures de sortie :  $\begin{bmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_N \end{bmatrix} = [H][\theta]$

$$[\theta] = \{[H]^t [H]\}^{-1} [H]^t [y]$$

Les relations entre les paramètres  $a_1, b_1$  et les caractéristiques du système linéaire continu  $K$  et  $\tau$  sont :

$$a_1 = e^{-\frac{T_e}{\tau}} \text{ et } b_1 = 1 - a_1.$$

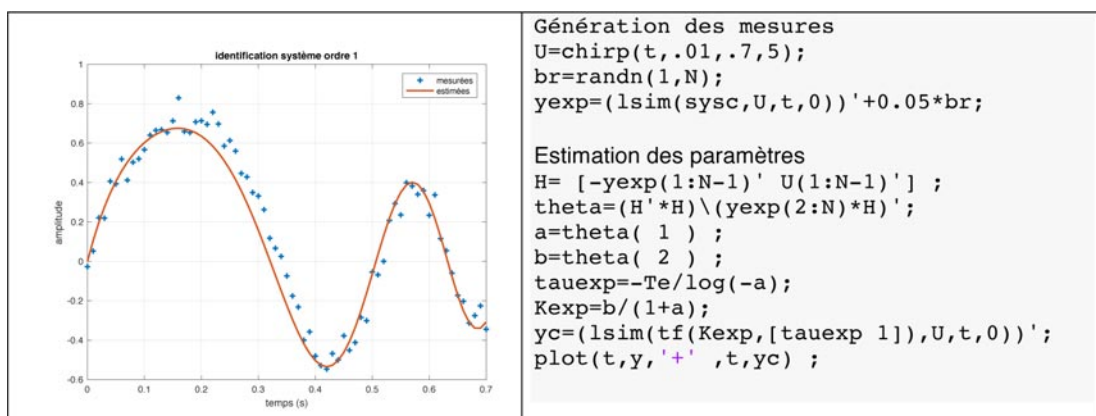


Figure 5 – identification d'un système linéaire continu du 1<sup>er</sup> ordre.



# ID paramétrique

Sur la figure 5, les mesures sur le système expérimental ont été bruitées pour se rapprocher d'un système réel. Nous pouvons constater l'existence d'écarts entre les mesures expérimentales et le modèle mathématique car il existe une corrélation entre les grandeurs mesurées et les bruits de mesures due à l'équation récurrente. Dans ces conditions, l'identification est sensible aux bruits de mesures. Pour palier ce problème de sensibilité, il est nécessaire d'introduire un modèle d'estimation et de minimiser l'erreur par une convergence numérique à partir du gradient de l'erreur.

## 2.3 – IDENTIFICATION PAR LA MÉTHODE DU GRADIENT

L'objectif de la méthode est de construire la matrice  $[H]$  à partir des valeurs estimées par la simulation d'un modèle discret de comportement et de minimiser l'erreur quadratique entre les valeurs mesurées et les valeurs estimées en faisant varier les paramètres en fonction de la valeur du gradient de l'erreur quadratique pour chaque pas de calcul.

$$J(\theta) = \frac{1}{2} \{ [y]_{exp} - [y]_m \}^t \{ [y]_{exp} - [y]_m \}$$

avec  $[H] = \begin{bmatrix} -y_m(0) & u_0 \\ \dots & \dots \\ -y_m(N-1) & u_{N-1} \end{bmatrix}$   $[y_m] = \begin{bmatrix} y_m(1) \\ \dots \\ y_m(N) \end{bmatrix}$   $[y_{exp}] = \begin{bmatrix} y_{exp}(1) \\ \dots \\ y_{exp}(N) \end{bmatrix}$

Le gradient de l'erreur est calculé en développant le calcul de  $J(\theta)$  et en calculant sa dérivée matricielle :

$$J(\theta) = \frac{1}{2} \{ [y]_{exp}^t [y]_{exp} - [y]_{exp}^t [H] [\theta] - [\theta]^t [H]^t [y]_{exp} + [\theta]^t [H]^t [H] [\theta] \}$$

Le gradient de l'erreur est donné par :  $\frac{\partial J(\theta)}{\partial \theta} = -[H]^t \{ [y]_{exp} \} - [H]^t [H] [\theta]$

Il suffit de calculer pour chaque pas le vecteur des paramètres à partir du gradient :

$$[\theta(n+1)] = [\theta(n)] - \alpha [H]^t \{ [y]_{exp} \} - [H]^t [H] [\theta]$$

La précision dépend de la valeur de  $\alpha = 1e^{-3}$  et du nombre d'itération  $N=1000$  ;

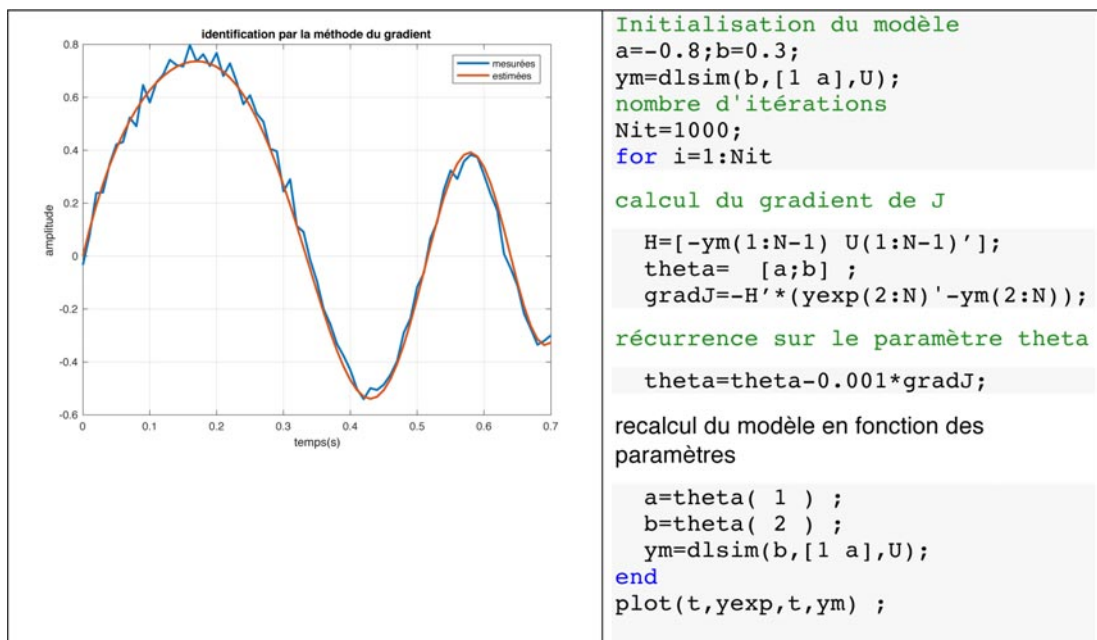


Figure 6 – Identification du système du 1<sup>er</sup> ordre par la méthode du gradient.

Sur la figure 6, nous pouvons vérifier l'amélioration apportée par cette méthode, les mesures sur le système expérimental sont identiques aux mesures présentées sur la figure 5. Par contre la méthode impose d'inverser la matrice pseudo-inverse qui dans cet exemple comporte 1000 lignes et 2 colonnes.

## 2.4 - IDENTIFICATION PAR LA MÉTHODE DES MOINDRES CARRÉS RÉCURSIFS

Dans la méthode précédente, le calcul de la matrice pseudo-inverse peut poser des problèmes liés au conditionnement de la matrice et une difficulté liée au temps de calcul, pour une implantation sur un ordinateur. Pour palier cette difficulté, il est préférable d'utiliser une méthode récursive où il n'est plus nécessaire d'inverser la matrice pseudo-inverse.



Pour trouver l'algorithme récursif, il faut ajouter une mesure aux grandeurs définies dans la méthode du gradient :

$$[\Phi]_N = \begin{bmatrix} -y_m(0) & u_0 \\ \dots & \dots \\ -y_m(N-1) & u_{N-1} \end{bmatrix} \quad [y_m]_N = \begin{bmatrix} y_m(1) \\ \dots \\ y_m(N) \end{bmatrix} \quad [y_{exp}]_N = \begin{bmatrix} y_{exp}(1) \\ \dots \\ y_{exp}(N) \end{bmatrix}$$

$$[\Phi]_{N+1} = \begin{bmatrix} [\Phi]_N \\ (\Phi)_{N+1} \end{bmatrix} \quad [y_{exp}]_{N+1} = \begin{bmatrix} [y_{exp}]_N \\ (y_{exp})_{N+1} \end{bmatrix} \text{ et}$$

en posant :  $P_{N+1} = ([\Phi]_{N+1}^t [\Phi]_{N+1})^{-1}$

En utilisant les matrices d'observations et de mesures à l'instant N dans la définition du vecteur des paramètres à l'instant N+1 :

$$[\theta_{N+1}] = P_{N+1} [\Phi]_{N+1}^t [y_{exp}]_{N+1}$$

$$P_{N+1}^{-1} = P_N^{-1} + (\Phi)_{N+1}^t (\Phi)_{N+1}$$

Cette expression peut être simplifiée en utilisant le lemme d'inversion :

$$[A + BCD]^{-1} = A^{-1} - A^{-1}B[C^{-1} + DA^{-1}B]^{-1}DA^{-1}$$

avec  $A = P_N^{-1}$   $B = (\Phi)_{N+1}^t$   $C=1$  et  $D = (\Phi)_{N+1}$

d'où les équations récursives sur le vecteur des paramètres :

$$[\theta_{N+1}] = [\theta_N] + \frac{P_N(\Phi)_{N+1}^t}{1 + (\Phi)_{N+1}P_N(\Phi)_{N+1}^t} \left[ [y_{exp}]_{N+1} - (\Phi)_{N+1}[\theta_N] \right]$$

$$P_{N+1} = P_N - \frac{P_N(\Phi)_{N+1}^t(\Phi)_{N+1}P_N}{1 + (\Phi)_{N+1}P_N(\Phi)_{N+1}^t}$$

Dans la mise en œuvre de cette méthode, il est possible d'initialiser le vecteur des paramètres par la méthode des moindres carrés limitée à un nombre restreint de mesures puis de continuer l'acquisition des mesures avec la méthode récursive.

## 2.5 – CONSTRUCTION D'UN OBSERVATEUR DU SYSTÈME.

Dans cette partie, nous allons montrer comment piloter un système où toutes les grandeurs d'état ne sont pas accessibles. Le modèle de comportement caractérisant le système se présentera sous la forme d'une équation d'état et nous calculerons le correcteur par une méthode de placement de pôles grâce aux informations données par l'observateur. La figure 7 présente la conception d'un observateur.

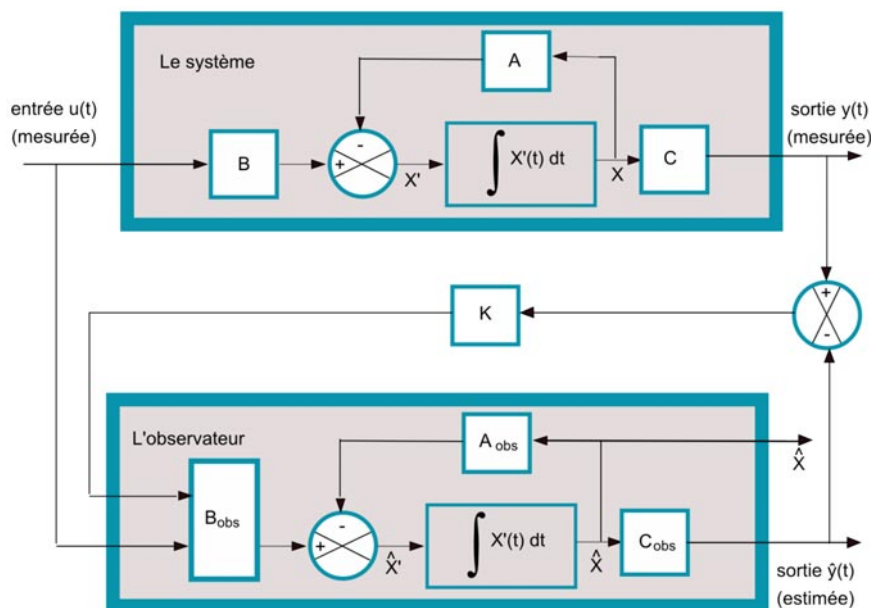


Figure 7 – Conception d'un observateur



# ID paramétrique

Sur la figure 7, le système est défini par une représentation d'état autour d'un point de fonctionnement ( $X_0$ ), on suppose que le vecteur d'état ( $X$ ) n'est pas entièrement mesurable, les grandeurs mesurables sont  $y_{mes}$ . La construction de l'observateur se fera par une représentation d'état identifiée à partir du système.

Pour le système :  $X' = A X + B u$  et  $y_{mes} = C X$

Pour l'observateur :  $\hat{X}' = A_{obs}\hat{X} + B_{obs}u + K(y_{mes} - \hat{y})$  et  $\hat{y} = C_{obs}\hat{X}$

Le fonctionnement de l'observateur devient :  $\hat{X}' = (A_{obs} - K C_{obs})\hat{X} + B_{obs}u + K y_{mes}$

Les pôles de l'observateur seront placés par le calcul du gain  $K$ , ces pôles devront être choisis de manière à obtenir une dynamique sur les variables d'état  $\hat{X}$  beaucoup plus rapides que sur le système. Dans la commande par retour d'état du système, l'entrée du système est  $u(t) = -G y_C - L \hat{X}$ . Enfin les écarts de l'observateur, par rapport au système réel, se calculent en effectuant un changement de variable :

$$\varepsilon = X - \hat{X} \text{ avec le retour d'état } u = -L\hat{X} + v(t)$$

$$\text{soit : } \begin{cases} X' = (A - BL)X + (BL)\varepsilon + B v(t) \\ \varepsilon' = (A - KC)\varepsilon \end{cases}$$

$$\text{sous forme matricielle : } \begin{bmatrix} X' \\ \varepsilon' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (A - BL) & BL \\ 0 & (A - KC) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ \varepsilon \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} v(t)$$

Le retour d'état de gain  $[L]$  impose les « pôles » du système et le gain  $K$  de l'observateur impose les « zéros » du système.

## 3 – CAS DE LA BOÎTE NOIRE

La boîte noire correspond généralement à un système pour lequel le modèle de connaissance est inconnu ou bien trop complexe, et il est nécessaire de construire un modèle de comportement qui assure une erreur quadratique minimale avec les grandeurs mesurées sans connaître le fonctionnement interne du système à commander. Il est possible également d'approcher ce concept par des logiques d'apprentissage tel que la logique floue, ou bien un réseau neuronal organisé en plusieurs couches appelé perceptron. Chaque couche est constituée de neurones connectés entre eux. Le comportement non linéaire des systèmes peut être reproduit par les réseaux de neurones au travers de la rétropropagation du gradient de l'erreur. Ces techniques dépassent largement le but de cet article qui se limite à l'identification des systèmes.

## BIBLIOGRAPHIE

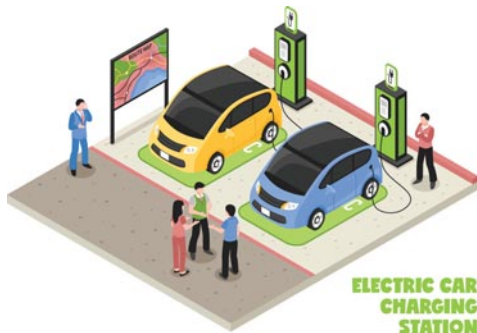
La régulation industrielle – régulateurs PID, prédictifs et flous. Auteur Jean Marie Flaus.  
Editeur Hermès, octobre 1994.

Identification et commande des systèmes. Auteur Ioan Doré Landau.  
Edition Hermès, janvier 1988.

Observation et commande par retour d'état d'un procédé de bacs communicants. Auteurs Ahmad Hably et Jonathan Dumon. Grenoble-INP, ENSE3 et Département Automatique, GIPSA-lab.

Le logiciel Matlab™ / Simulink et « Control System Toolbox » Auteurs John N. Little et Alan J. Laub

## VÉHICULES ÉLECTRIQUES ET BORNES DE CHARGE



### LE MARCHÉ DU VÉHICULE ÉLECTRIQUE (VE)

Le développement de l'industrie automobile passera par le véhicule électrique. Un des principaux freins à cet essor est le manque de points de recharge disponibles.

Les institutions tentent de favoriser ce déploiement. En effet, le décret du 25 juillet 2011 oblige le déploiement de bornes de recharge dans les bâtiments neufs et donne le droit à la prise dans les bâtiments existant. De plus, la loi du 4 août 2014 favorise son déploiement sur l'espace public.

L'objectif, fixé par la commission européenne, est d'installer plus de 97 000 bornes publiques d'ici 2020.

Ces installations entrent dans un cadre normatif contraignant et appelé à évoluer pendant la période de déploiement (nouvelles normes, nouveaux véhicules).

De plus, la borne n'est que le maillon final d'une Infrastructure de Recharge pour Véhicule Electrique (IRVE) qu'il faut gérer.

**100 000** : c'est nombre de **voitures 100% électriques** en circulation en France. Un record européen.

### LES BORNES DE CHARGE

- 23 000 : c'est le nombre total de points de recharge publique installés en France jusqu'en septembre 2018. Une progression de quasiment 15% par rapport à l'année 2017 ;
- 97 000 : c'est le nombre de points de recharge qui était prévu pour 2020, mais le nombre de 40000 paraît plus réaliste.

Ce retard s'explique, en partie, par la mise en place d'une qualification pour l'installation des IRVE, imposée par le décret du 12 janvier 2017. Il impose une formation spécifique aux installateurs de borne de plus de 3,7 kVA.

### LES DIFFÉRENTES PUISSANCES DE BORNES DE RECHARGE

Les dispositifs de recharge peuvent être séparés en deux catégories :

- **LA RECHARGE NORMALE** : La recharge normale jusqu'à **7,4 kVA** (monophasé) constitue le type de recharge privilégié en résidentiel. Dans les bâtiments tertiaires, les copropriétés ou sur la voie publique, on trouvera fréquemment de la recharge normale jusqu'à **22 kVA** (triphasee).
- **LA RECHARGE RAPIDE** : La recharge rapide correspond à des situations de stationnement de courte durée, de recharge sur long trajet et de recharge d'appoint ou de réassurance. Elle s'effectue sur des bornes d'une puissance supérieure à **22 kVA** et permet de recharger la batterie en 30 minutes (pour du **43 kVA**). Pour l'instant seul la Renault ZOE supporte des charges supérieures à 22kVA, plus de la moitié des véhicules à la vente aujourd'hui se charge avec des puissances inférieures à 7 KVA.

### LES MODALITÉS DE RECHARGE INTELLIGENTE

La recharge intelligente permet de gérer les besoins des véhicules électriques en prenant en compte la capacité du réseau de distribution. Pour cela, il existe plusieurs possibilités :

- **LA CHARGE DECALE** : Elle permet d'autoriser la charge des VE que pendant les heures creuses (comme la gestion des chauffe-eau) surtout utilisée pour les recharges de petites puissances (3,7 kVA)
- **LA PUISSANCE VARIABLE** : Elle permet d'ajuster les puissances de chaque point de recharge dans les collectivités en envoyant des signaux tarifaires aux bornes, permettant d'ajuster à distance la consommation globale avec la production.
- **V2H, V2B, V2G** : Le véhicule électrique devient un élément de stockage d'énergie en autoconsommation dans la maison (V2H) ou dans les bâtiments (V2B). Mais l'enjeu majeur pour la réussite des Smart Grids est la réinjection du stockage batterie des voitures directement au réseau de distribution (V2G). Nissan vient de faire homologuer, en Allemagne, la première LEAF permettant d'alimenter le réseau électrique, cela nécessite des chargeurs bidirectionnels.



# Un monde « Smart »

## ACTIVITÉ : LA NÉCESSITÉ DES MESURES DANS UN MONDE « SMART »

Mr Sébastien Francheteau  
professeur Lycée Les Eucalyptus, Académie Nice

Depuis la rentrée 2016, le Baccalauréat Professionnel ELEEC, secteur de l'électricité a subi une mutation majeure avec l'arrivée d'un nouveau référentiel mettant les élèves dans une nouvelle phase d'apprentissage du présent et de l'avenir, Le BAC PRO MELEC.

Intégrant les concepts du « Smart » (Smart Home, Smart City, Smart Grid, ...), ce nouveau référentiel garde toutefois des fondamentaux tels que la mise en service, la maintenance (préventive et dépannage), et met en avant la livraison d'une installation.

L'inscription au référentiel des 3 dossiers (Technique, supports d'enregistrement et de communication, Santé Sécurité au Travail et protection de l'environnement) fait émerger une base documentaire nouvelle. Ces dossiers apportent des concepts de traçabilité sur les environnements utilisés avec la mise en place de différentes annexes tels que :

- Diagnostic électrique, diagnostic énergétique
- Procédures présentant les informations utiles à la réalisation des tâches, des remises en service
- Instructions et gamme de maintenance
- Historique de maintenance
- Fiche d'autocontrôle
- Attestations de contrôle et de conformité
- ...

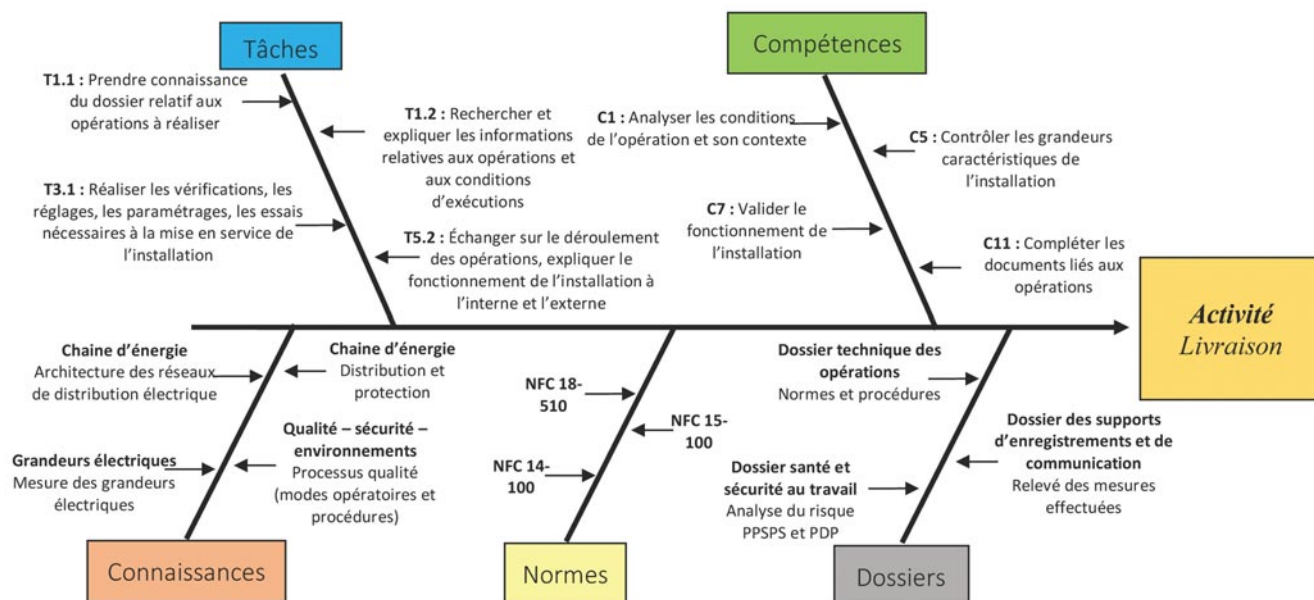


Dans ce sens, un **partenariat entre la société de matériel didactique SET et la société Chauvin Arnoux** a été créé pour jumeler leurs savoirs pour améliorer l'apprentissage des jeunes de la filière. Une première collaboration sur la borne de Recharge Green Up Premium de Legrand, a mis en avant la valeur ajoutée de joindre mesure et système dans le monde éducatif.

La mise en service et la livraison d'une **borne de recharge de véhicule électrique** nécessite un ensemble de contrôle et de mesure. Nous vous proposons de découvrir une activité de livraison adaptée au Bac Pro MELEC

## ACTIVITÉ DE LIVRAISON DE LA BORNE GREEN UP PREMIUM

### DONNÉES PÉDAGOGIQUES



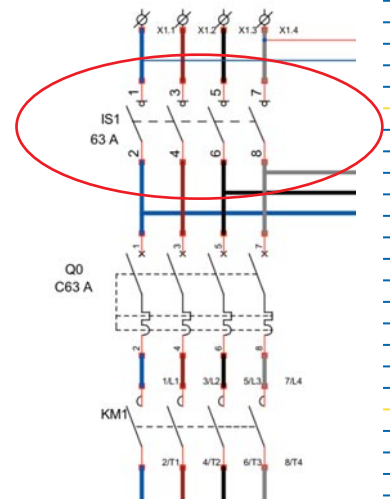
## CONTRÔLE DE L'INSTALLATION HORS TENSION

### Vérification d'absence de tension

Le premier contrôle à réaliser est la Vérification d'Absence de Tension, en vous aidant du schéma de l'installation, définir l'endroit de la mesure et contrôler la présence de tension.

**Le port des EPI est obligatoire pour faire une VAT.**

Repère de la protection	Référence	Caractéristiques	Fonction
IS1	0 221 15 LEGRAND	Interrupteur-sectionneur rotatif cadenassable - tétrapolaire + neutre à gauche - 63A	Isoler le système du réseau électrique de distribution



Appareil utilisé		VAT C.A 762	
Contrôle	Tenant	Aboutissant	Présence de tension
Entre Phase 1 et phase 2	Borne 4 de IS1	Borne 6 de IS1	<input type="checkbox"/> OUI <input checked="" type="checkbox"/> NON
Entre Phase 1 et phase 3	Borne 4 de IS1	Borne 8 de IS1	<input type="checkbox"/> OUI <input checked="" type="checkbox"/> NON
Entre Phase 2 et phase 3	Borne 6 de IS1	Borne 8 de IS1	<input type="checkbox"/> OUI <input checked="" type="checkbox"/> NON
Entre Neutre et phase 1	Borne 2 de IS1	Borne 4 de IS1	<input type="checkbox"/> OUI <input checked="" type="checkbox"/> NON
Entre Neutre et phase 2	Borne 2 de IS1	Borne 6 de IS1	<input type="checkbox"/> OUI <input checked="" type="checkbox"/> NON
Entre Neutre et phase 3	Borne 2 de IS1	Borne 8 de IS1	<input type="checkbox"/> OUI <input checked="" type="checkbox"/> NON



### Contrôle visuel de l'installation

Le contrôle visuel doit permettre de s'assurer que l'ensemble des composants de l'installation soit conforme aux normes en vigueur et dans un bon état mais aussi aucun conducteur tendu, conducteurs bien rangés, les conducteurs de puissance en fond, appareillages et conducteurs repérés et les couleurs respectées, Aucune partie de cuivre n'est visible.

Appareils	Connexions et conducteurs conformes	État Matériel	CE et/ou NF	Fixation correcte	Appareils	Connexions et conducteurs conformes	État Matériel	CE et/ou NF	Fixation correcte
IS1	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	Q6	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON
Q0	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	ID2	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON
KM1	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	T1	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON
ID1	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	TL1	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON
Q1	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	S1	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON
Q2	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	BP ARUS	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON
Q3	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	BP Arrêt	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON
Q4	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	BP Marche	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON
Q5	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	PC1	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> OK <input type="checkbox"/> NOK	<input checked="" type="checkbox"/> CE <input type="checkbox"/> NF	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON



# Un monde « Smart »

## Contrôle de l'absence de court-circuit

A l'aide du C.A 5277, positionné sur testeur de continuité, vérifier l'absence de court-circuit du tableau de commande de la borne, enclencher toutes les protections sauf ISI :

Contrôle	Tenant	Aboutissant	Présence de tension
Entre Phase 1 et phase 2	Borne 4 de ISI	Borne 6 de ISI	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Entre Phase 1 et phase 3	Borne 4 de ISI	Borne 8 de ISI	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Entre Phase 2 et phase 3	Borne 6 de ISI	Borne 8 de ISI	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Entre Neutre et phase 1	Borne 2 de ISI	Borne 4 de ISI	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Entre Neutre et phase 2	Borne 2 de ISI	Borne 6 de ISI	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Entre Neutre et phase 3	Borne 2 de ISI	Borne 8 de ISI	X OUI <input type="checkbox"/> NON



## Contrôle de l'équipotentialité des masses

A l'aide du C.A 5277, positionné sur testeur de continuité, vérifier que l'ensemble des masses et des conducteurs PE soit bien interconnecté.

Borne 1	Borne 2	Continuité
PE Tableau	PE PCI	X OUI <input type="checkbox"/> NON
PE Tableau	PE TI	X OUI <input type="checkbox"/> NON
PE Tableau	PE Borne	X OUI <input type="checkbox"/> NON

## Mesure de la résistance d'isolement

A l'aide du contrôleur d'installation C.A 6117, vérifier la résistance d'isolement de vos conducteurs. La norme NF C 15-100 prescrit pour les installations électriques les valeurs de la tension d'essai ainsi que la résistance d'isolement minimale (500 VDC et 0,5 M $\Omega$  pour une tension nominale de 50 à 500 VAC)

**ATTENTION LA MESURE DE RESISTANCE D'ISOLEMENT PEUT ENDOMMAGER LES PARTIES ELECTRONIQUES DE L'INSTALLATION, DEMANDER A VOTRE PROFESSEUR AVANT DE FAIRE LES MESURES. LE PORT DES EPI EST OBLIGATOIRE.**

Contrôle	Tenant	Aboutissant	Mesure	Présence de tension
Entre Phase 1 et phase 2	Borne 4 de ISI	Borne 6 de ISI	1567 k $\Omega$	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Entre Phase 1 et phase 3	Borne 4 de ISI	Borne 8 de ISI	1566 k $\Omega$	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Entre Phase 2 et phase 3	Borne 6 de ISI	Borne 8 de ISI	1567 k $\Omega$	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Entre Neutre et phase 1	Borne 2 de ISI	Borne 4 de ISI	1568 k $\Omega$	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Entre Neutre et phase 2	Borne 2 de ISI	Borne 6 de ISI	1567 k $\Omega$	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Entre Neutre et phase 3	Borne 2 de ISI	Borne 8 de ISI	1569 k $\Omega$	X OUI <input type="checkbox"/> NON



## Conclusion

Si une non-conformité est déclarée lors de ces tests hors tension, vous devez prévenir le professeur et lui proposer une solution corrective pour palier à cette anomalie, après l'intervention les tests seront relancés pour valider que l'ensemble des défauts est annulé.

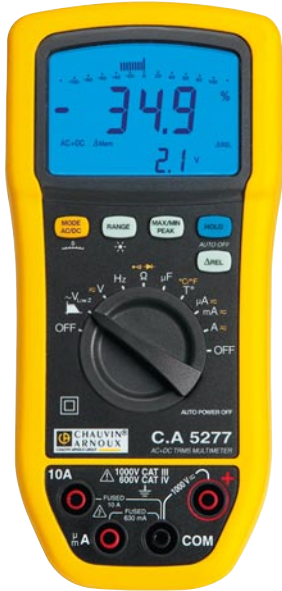
**Pour la suite, les contrôles se feront en présence de tension. Les EPI sont obligatoires tout au long des contrôles suivants.**

## CONTRÔLE DE L'INSTALLATION SOUS TENSION

La deuxième partie des mesures et contrôle se font sous tension

### Vérification des tensions d'alimentation

Ouvrir toutes les protections, enclencher au fur et à mesure



Protections à enclencher	Tenant	Aboutissant	Mesure attendue	Mesure attendue	Conforme
IS1	Borne 2	Borne 4	230 V	229 V	X OUI <input type="checkbox"/> NON
	Borne 4	Borne 6	400 V	402 V	X OUI <input type="checkbox"/> NON
	Borne 4	Borne 8	400 V	399 V	X OUI <input type="checkbox"/> NON
	Borne 6	Borne 8	400 V	407 V	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Q0	Borne 2	Borne 8	230 V	229 V	X OUI <input type="checkbox"/> NON
	Borne 4	Borne 6	400 V	402 V	X OUI <input type="checkbox"/> NON
	Borne 4	Borne 8	400 V	399 V	X OUI <input type="checkbox"/> NON
	Borne 6	Borne 8	400 V	407 V	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Q5	Borne L	Borne N	230 V	232 V	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Q6	Borne L	Borne N	24 V	27 V	X OUI <input type="checkbox"/> NON
ID2	Borne L	Borne N	230 V	232 V	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Q4	Borne L	Borne N	230 V	232 V	X OUI <input type="checkbox"/> NON
Q3	Borne L	Borne N	230 V	232 V	X OUI <input type="checkbox"/> NON

### Vérification des serrages des conducteurs

Lors d'un câblage de tableau, l'ensemble des connexions doit être vérifié pour éviter tout incident futur, de même lors des visites de maintenance préventive. Pour faire une vérification rapide et efficace, le resserrage des bornes au tournevis n'est pas le plus pratique, par contre l'utilisation d'une caméra thermique permet de vérifier très rapidement l'ensemble des connexions et de relever les erreurs.



NOM	Température °C max	Anomalies constatées
Tableau de distribution Partie puissance	30 °C	Pas d'anomalie
Tableau de distribution Partie puissance	28 °C	Pas d'anomalie
Borne de recharge Partie puissance	30 °C	Pas d'anomalie



# Un monde « Smart »

## Contrôle de l'impédance de boucle sans déclenchement

Dans une installation de type TN ou TT, la mesure d'impédance de boucle permet de calculer le courant de court-circuit et de dimensionner les protections de l'installation (fusibles ou différentiels), notamment en pouvoir de coupure.

Dans une installation de type TT, la mesure d'impédance de boucle permet de déterminer facilement la valeur de la résistance de terre sans planter aucun piquet et sans avoir à couper l'alimentation de l'installation. Le résultat obtenu, Zs, est l'impédance de boucle de l'installation entre les conducteurs L et PE. Elle est à peine supérieure à la résistance de terre.

Faire la mesure d'impédance de boucle Zs avec le contrôleur d'installation C.A 6117.



Impédance de boucle à contrôler (Z boucle sans déclenchement).	Valeur d'impédance obtenue.	Identifier le régime de neutre.	Valeur maximale normalisée.	Commenter le choix du régime de neutre et la conformité de la liaison PE principale.
Position : L-PE		<input type="checkbox"/> TT <input type="checkbox"/> TN <input type="checkbox"/> IT		

## Contrôle de la protection différentielle

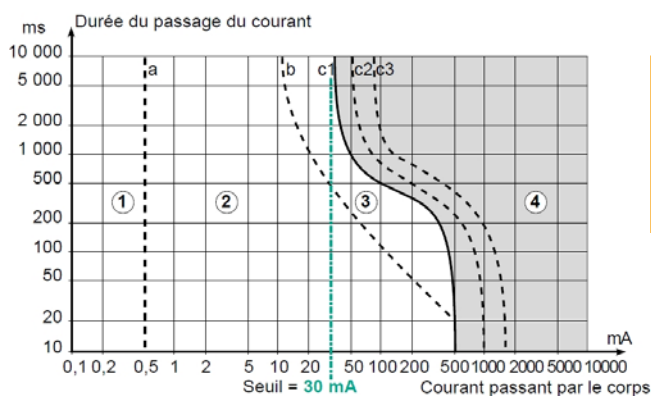
La borne de recharge est protégée par un interrupteur différentiel tétrapolaire 30 mA de type B, en effet le stockage sur batterie nécessite un DDRHS (Dispositif Différentiel à courant Résiduel Haute Sensibilité) contre les fuites de courant continu lisse.

Donner ci-dessous les résultats des tests de déclenchement en temps et en intensité et conclure sur la conformité du déclenchement en justifiant par rapport aux données réglementaires.

Tension d'alimentation	$U_0 \leq 120 \text{ V}$	$U_0 \leq 230 \text{ V}$	$U_0 \leq 400 \text{ V}$	$U_0 > 400 \text{ V}$
Schéma TN Schéma IT	0,8 s	0,4 s	0,2 s	0,1 s
Schéma TT	0,3 s	0,2 s	0,07 s	0,04 s

Type de DDRHS	Réglage du contrôleur d'installation C.A 6117			Résultats (les tests se feront avec un courant de défaut de $5 \times I_{\Delta n}$ )
	Type de courant injecté par le contrôleur	Valeur de contrôle	Phase	
<input type="checkbox"/> AC	<input type="checkbox"/> AC	$\Delta t$	0°	$\Delta t = 78 \text{ ms}$
<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> AC + DC	$I_{\Delta n}$		$I_{\Delta n} = 21 \text{ mA}$
<input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> AC + DC + S	$\Delta t$	180°	$\Delta t = 123 \text{ ms}$
<input checked="" type="checkbox"/> B	<input checked="" type="checkbox"/> B	$I_{\Delta n}$		$I_{\Delta n} = 27 \text{ mA}$

Tracé des points de déclenchements et de la zone de conformité.



**Conclure :** La protection différentiel de l'installation respecte les temps de déclenchement et sa sensibilité est comprise entre  $\frac{1}{2} I_{\Delta n} < \text{Borne} < I_{\Delta n}$

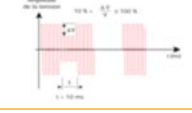

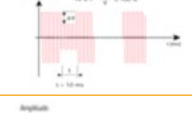

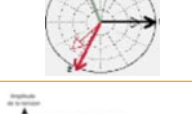
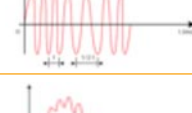



## CONTRÔLE DE LA QUALITE DE L'ENERGIE

Dans le passé la plupart des charges étaient linéaires, la tension était proportionnelle à l'intensité  $U = R \times I$  (Lampes à incandescences, convecteur, moteur sans variateur, etc.). Maintenant Les charges non linéaires (informatique, et autres électroniques de puissance) déforment les signaux (tension et intensité).

La tension étant commune aux autres récepteurs voisins (même réseaux), ceux-ci se retrouvent perturbés par les harmoniques générés.

### Les différentes perturbations selon la norme EN 50160

Coupages : Coupures de tensions brèves et creuses de tension dues aux intempéries et aux causes externes (C.C.T, courant d'appels, foudre, etc).	
Creux de tension, surtensions : Foudre, fusion de fusible, enclenchement de condensateur, coupure de contacteur...	
Fluctuations lentes : Élévation ou baisse de la valeur efficace de la tension ( $\Delta V$ ) en raison d'une variation de charge sur le réseau.	
Fluctuations rapides (Flicker) : Fonctionnement de certains appareils à charge fluctuante (soudeuse, four à arc).	
Déséquilibres : Coupure du neutre dans un montage étoile déséquilibré. La modification et l'évolution des équipements existants est souvent à l'origine des déséquilibrages.	
Déséquilibres : Coupure du neutre dans un montage étoile déséquilibré. La modification et l'évolution des équipements existants est souvent à l'origine des déséquilibrages.	
Harmoniques : Le taux global d'harmoniques (THD) ne doit pas excéder 8% de l'amplitude de la fondamentale.	

Le tableau suivant indique les valeurs de taux de distorsion harmonique individuel calculées par rapport au fondamental à 50 Hz.

### Niveau de compatibilité pour les tensions harmoniques individuelles

Rang d'harmonique	Taux en %
3	5
5	6
7	5
9	1,5
11	3,5
13	3
15	0,3
17	2
19	1,5
21	0,2

Ces valeurs représentent des taux individuels, sachant que le taux global d'harmonique en tension ne doit pas dépasser « 8 % » dans une installation de distribution basse tension.

Le contrôle de la qualité d'énergie pour une borne de recharge de véhicule électrique, et plus précisément le taux de distorsion harmonique, n'est pas dépendant seulement de l'IRVE en place mais surtout du véhicule qui se connecte pour être rechargé. En effet, le chargeur se trouve dans le véhicule donc chaque véhicule doit faire l'objet d'une analyse pour vérifier son impact sur le réseau de distribution, dans notre étude nous utiliserons trois plans de charge différents (résistif, capacitif et inductif).

Compléter le tableau avec les valeurs suivants les charges associées

Rang d'harmonique	Charge Résistive	Charge Capacitive	Charge Inductive
3	..... %	..... %	..... %
5	..... %	..... %	..... %
7	..... %	..... %	..... %
9	..... %	..... %	..... %
11	..... %	..... %	..... %
13	..... %	..... %	..... %
15	..... %	..... %	..... %
17	..... %	..... %	..... %
19	..... %	..... %	..... %
21	..... %	..... %	..... %

A noter que l'installation d'une IRVE nécessite aussi de contrôler la qualité du réseau de distribution, car si le taux d'harmoniques généré par les récepteurs environnements est trop élevé, il se peut que le véhicule refuse de se mettre en charge. Renault préconise pour sa Zoé un intervalle de taux d'harmoniques pour que la charge puisse se faire sinon elle annonce « Charge batterie impossible ».



## “UNE ÉVOLUTION DU MESURAGE, QUAND LES CAPTEURS DEVIENNENT VIRTUELS”

Claude Bergmann

Président d'honneur du "Club du Mesurage"  
Inspecteur Général de l'Éducation Nationale  
Sciences et Techniques Industrielles

Vous avez des soucis pour mesurer une grandeur physique ? Avec la puissance de calcul que possèdent les nouveaux processeurs, vous pourrez utiliser un « capteur virtuel ». Le « capteur virtuel » est en fait un modèle mathématique (modèle de comportement) qui fusionne les données issues de multiples capteurs pour estimer une nouvelle grandeur qui ne peut être mesurée directement par un capteur physique.

Ce modèle de comportement peut être calibré à partir d'un modèle de connaissances associé à une série de tests mettant en oeuvre des capteurs réels numériques ou analogiques. Le modèle de connaissances est généralement élaboré à partir des principales lois de conservation de la physique. Les modèles de connaissances se présentent généralement sous forme d'équations différentielles dont les paramètres représentent les grandeurs caractéristiques du système étudié. Par la suite, des capteurs pourront être supprimés et remplacés par un processeur qui exécutera un algorithme de programmation appelé estimateur. Cet estimateur simulera, en temps réel, le modèle de comportement souhaité. Le bon fonctionnement du capteur virtuel est principalement lié à une bonne identification des paramètres du système ainsi qu'aux conditions initiales lors de l'exécution de l'algorithme.

La puissance de calcul des processeurs autorise une identification des paramètres en ligne. Dans une première partie nous allons rappeler le principe d'une identification paramétrique par la « méthode des moindres carrés » selon Gauss, dans une seconde partie nous utiliserons un système dans le cas d'une commande possédant un nombre réduit de capteurs.

### 1- Identification paramétrique

Le principe de la « méthode des moindres carrés » est de choisir les paramètres  $\theta$  du modèle de telle sorte que la somme des carrés du signal d'erreur soit minimale. La matrice des erreurs  $[\epsilon]$  est la différence entre les valeurs prédites par le modèle et celles mesurées  $[\Phi]$  (la matrice des grandeurs mesurées).

$$[\epsilon] = [y - \Phi\theta]$$

Le critère à minimiser est :  $J(\theta) = \frac{1}{2}[\epsilon]^t[\epsilon]$

Le minimum de  $J(\theta)$  est obtenu à partir de sa dérivée matricielle :  $\frac{\partial}{\partial\theta}(J(\theta)) = 0$

$$\frac{\partial}{\partial\theta}(J(\theta)) = \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial\theta} ([y - \Phi\theta]^t [y - \Phi\theta]) = 0$$

soit :  $[\Phi]^t [y] = [\Phi]^t [\Phi] [\theta]$

d'où  $[\theta] = ([\Phi]^t [\Phi])^{-1} [\Phi]^t [y]$

Afin d'illustrer cette méthode, nous allons prendre l'exemple bien connu des électrotechniciens : un moteur à courant continu (excitation constante) entraînant une charge tournante possédant un frottement visqueux et un couple résistant constant.

Le modèle de connaissances peut s'écrire à l'aide de deux équations différentielles électrique et mécanique:

#### Equation électrique :

$u$  : La tension de commande de l'induit,

$i$  : le courant d'induit,

$\Omega$  : la vitesse de rotation de l'induit.

Les paramètres à identifier dans l'équation électrique sont :

$R$  : La résistance d'induit,

$L$  : l'inductance propre du circuit d'induit,

$k$  : la constante de FCÉM.

$$u = R i + L \frac{di}{dt} + k \Omega$$

## Equation électrique :

$u$  : La tension de commande de l'induit,  
 $i$  : le courant d'induit,  
 $\Omega$  : la vitesse de rotation de l'induit.

**Les paramètres** à identifier dans l'équation électrique sont :

$R$  : La résistance d'induit,  
 $L$  : l'inductance propre du circuit d'induit,  
 $k$  : la constante de FCEM.

## Equation mécanique :

$\Omega$  : La vitesse de rotation de la charge tournante,  
 $k i$  : le couple électromagnétique.

**Les paramètres** à identifier dans l'équation mécanique sont :

$J$  : L'inertie de la charge tournante,  
 $f$  : le coefficient de frottement visqueux,  
 $C_0$  : le couple résistant constant.

$$J \frac{d\Omega}{dt} = k i - f \Omega - C_0$$

Nous supposons que le système est équipé d'un capteur de courant, de tension et d'un capteur de vitesse et que les mesures sont enregistrées avec une période d'échantillonnage constante  $T_e$ . Dans ces conditions, l'équation électrique peut s'écrire sous forme matricielle :

$$[u] = [\Phi][\theta]$$

avec  $[\Phi] = \left[ i \quad \frac{di}{dt} \quad \Omega \right]$  le vecteur ligne des mesures,  $u$  le vecteur colonne de commande aux instants  $n T_e$ .

$[\theta] = \begin{bmatrix} R \\ L \\ k \end{bmatrix}$  représente le vecteur colonne des paramètres constants à identifier.

Bien entendu, nous ne disposons pas de la mesure  $\left(\frac{di}{dt}\right)_n$  qu'il faudra calculer et la matrice  $[\Phi]$  n'est pas inversible (la matrice n'est pas carrée).

Les mesures sont échantillonnées avec un pas constant  $T_e$  donc la dérivée du courant aux instants  $n T_e$  peut s'écrire :

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_n = \frac{(i)_n - (i)_{n-1}}{T_e}$$

Les paramètres  $[\theta]$  sont calculés à partir des grandeurs mesurées  $[\Phi]$  et du vecteur de commande  $[u]$  :  $[u] = [\Phi][\theta]$

La matrice  $[\Phi]$  n'est pas inversible mais il est possible de pré-multiplier l'équation par la matrice  $[\Phi]^t$

$$[\theta] = [[\Phi]^t [\Phi]]^{-1} [\Phi]^t [u]$$

Le calcul de la matrice inverse peut poser des difficultés mathématiques. En effet cette matrice peut être mal conditionnée. Le conditionnement dépend de la matrice de commande qui doit être bien choisie et des bruits de mesures des capteurs physiques. Les bruits sont particulièrement gênants lors du calcul de la dérivée du courant. Afin de palier cette difficulté, il est préférable d'éviter l'opération de dérivation en intégrant l'équation électrique. La période d'échantillonnage est constante donc l'opération d'intégration se limite à une somme cumulative (cumsum).

$$\sum_0^{n T_e} [u] T_e = \sum_0^{n T_e} [\Phi] T_e [\theta]$$

La matrice des mesures  $[\Phi]$  devient :

$$\sum_0^{n T_e} [\Phi] = \left[ \sum i T_e, \quad i, \quad \sum \Omega T_e \right]$$

Une méthode identique est appliquée à l'équation mécanique :

$$[\theta_m] = [[\Phi_m]^t [\Phi_m]]^{-1} [\Phi_m]^t [u_m]$$

avec le vecteur de commande  $[u_m]$  qui est le couple électromagnétique (mesure du courant), la matrice des mesures

$$[\Phi_m] = \left[ \Omega \quad \frac{d\Omega}{dt} \quad \text{sign}(\Omega) \right] \text{ et la matrice des paramètres constants à identifier } [\theta_m] = \begin{bmatrix} f \\ J \\ C_0 \end{bmatrix} .$$

Il faut remarquer que le couple mécanique constant est opposé au sens de la vitesse  $\text{sign}(\Omega)$  ce qui rend le système non linéaire. En intégrant l'équation mécanique, la matrice des mesures  $[\Phi_m]$  devient :

$$\sum_0^{n T_e} [\Phi_m] = \left[ \sum \Omega T_e, \quad \Omega, \quad \sum \text{sign}(\Omega) T_e \right]$$



# Capteurs virtuels

La mise en oeuvre de cette méthode d'identification est représentée à la figure 1 (page suivante), on observe que les mesures sont additionnées à un générateur de bruit aléatoire ainsi que la tension de commande pour approcher les conditions expérimentales.

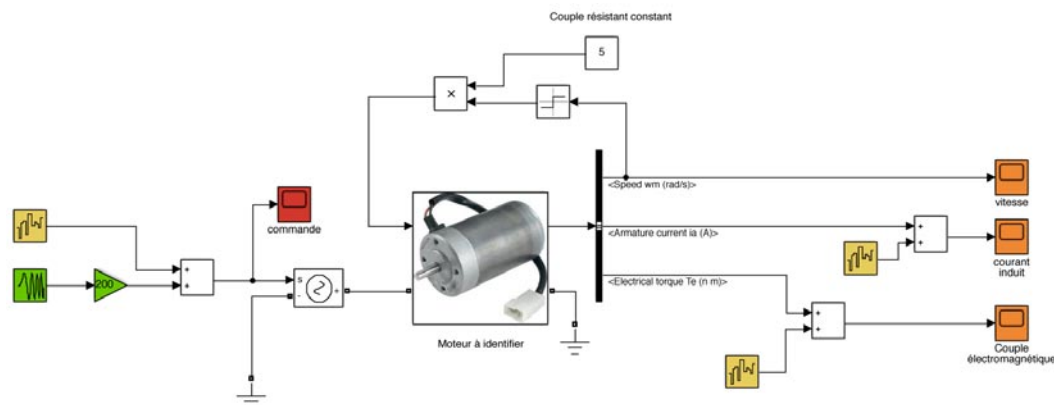


Figure 1 – Moteur à identifier

En l'absence de bruit, les résultats sont identiques aux valeurs théoriques. Avec un bruit additif sur les mesures de 10%, nous obtenons une très bonne précision sur les paramètres électriques.

Paramètres	R	L	Ke	j	f	Co	bruit
théoriques	0,06 w	0,012 H	1,8 Nm/A	1 kg m <sup>2</sup>	0,02 Nm/rd/s	5 Nm	0 %
mesurés	0,0601	0,011	1,8	0,9990	0,0193	5,533	10 %
erreur	0,17%	0,83%	0%	0,1%	3,5%	10,6%	0 %

## 2 - Commande d'un système à l'aide d'un observateur.

Dans cette partie, nous allons montrer comment piloter un système en utilisant un nombre réduit de capteurs. Le modèle de comportement caractérisant le système se présentera sous la forme d'une équation d'état et nous calculerons le correcteur par une méthode de placement de pôles grâce aux informations données par les capteurs virtuels. Pour illustrer cette méthode, nous allons décrire un système (figure 2) utilisant un arbre de transmission souple entre un moteur électrique et une charge inertielle dans un asservissement de position. La modélisation du système se fera à l'aide d'un modèle de comportement simplifié présenté à la figure 3. Nous pouvons observer l'utilisation virtuelle de 4 mesures : vitesse  $\omega_1$  et position  $\theta_1$  de l'arbre moteur et vitesse  $\omega_2$  et position  $\theta_2$  de l'arbre mené. Dans cette modélisation, le modèle d'état sera d'ordre 4, il est représenté à la figure 5 par une programmation graphique (simulink) des équations d'état :

$$\text{En appliquant le PFD sur la partie 1 de l'arbre de transmission : } J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = \Gamma_s - \Gamma_t - f_1 \omega_1$$

$$\text{En appliquant le PFD sur la partie 2 de l'arbre de transmission : } J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = \Gamma_t - f_2 \omega_2$$

$$\text{En appliquant le PFD sur l'arbre de transmission : } \Gamma_t = K(\theta_1 - \theta_2) + f(\omega_1 - \omega_2)$$

- avec
- $J_1$  : l'inertie de l'arbre moteur,
  - $J_2$  : l'inertie de la charge,
  - $\Gamma_s$  : Le couple moteur,
  - $\Gamma_t$  : Le couple transmis,
  - $f$  : le coefficient de frottement de la transmission,
  - $f_1$  : le coefficient de frottement de l'arbre moteur,
  - $f_2$  : le coefficient de frottement de la charge,
  - $K$  : Le coefficient d'élasticité de l'arbre de transmission.

# Capteurs virtuels

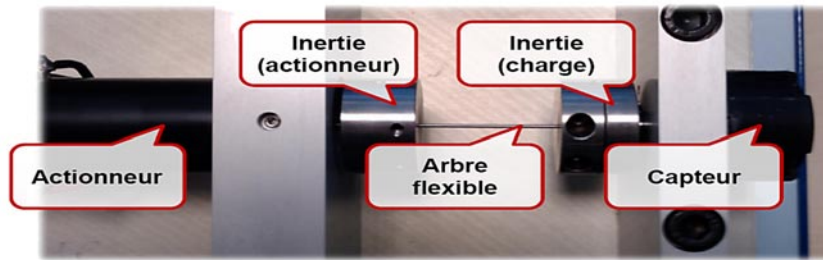


Figure 2 - Description du système

Le système réel ne comporte qu'un capteur de position sur la partie 2 de l'arbre de transmission

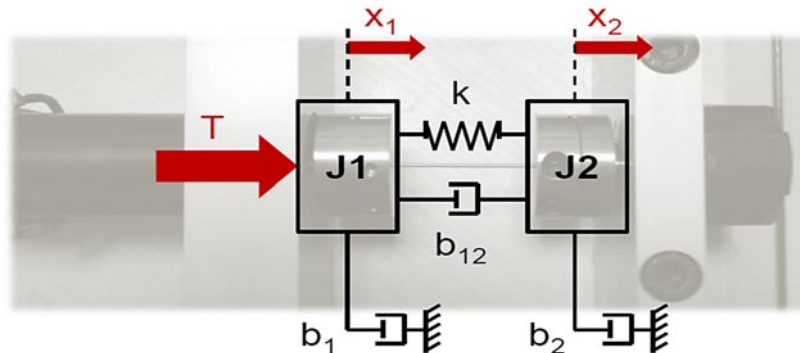


figure 3 - Modélisation simplifiée du système

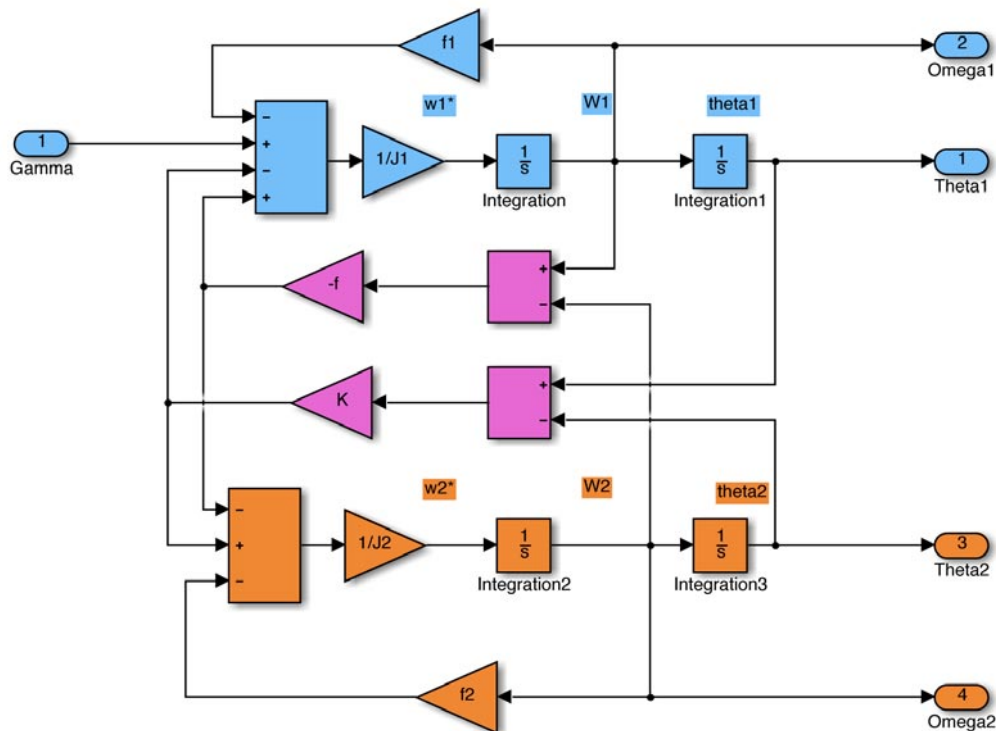


figure 4 - Programmation algorithmique du modèle d'état

### 3 – mise en oeuvre d'une commande par modèle interne et une action IP.

Le système réel ne possède pas les mesures de position de l'arbre moteur, ni les mesures de vitesse de l'arbre moteur et de la charge. Nous allons utiliser les résultats des capteurs virtuels  $\theta_1$ ,  $\omega_1$  et  $\omega_2$  pour élaborer la commande par modèle interne. Le modèle interne servira au retour d'état pour faire un placement de pôles à partir des résultats estimés. Pour un système du 4<sup>ème</sup> ordre, nous choisirons le placement des pôles, qui répond aux exigences du cahier des charges et des possibilités du couple moteur :

$$P = [-1 + j, -1 - j, -1 + j, -1 - j] * 10$$



# Capteurs virtuels

Il existe un seul capteur de position  $\theta_2$  sur l'arbre côté charge. Le vecteur d'état sera augmenté par une action intégrale afin de corriger l'erreur statique de position et les erreurs d'estimation entre les indications des capteurs virtuels et le système réel. Le système corrigé est représenté à la figure 5.

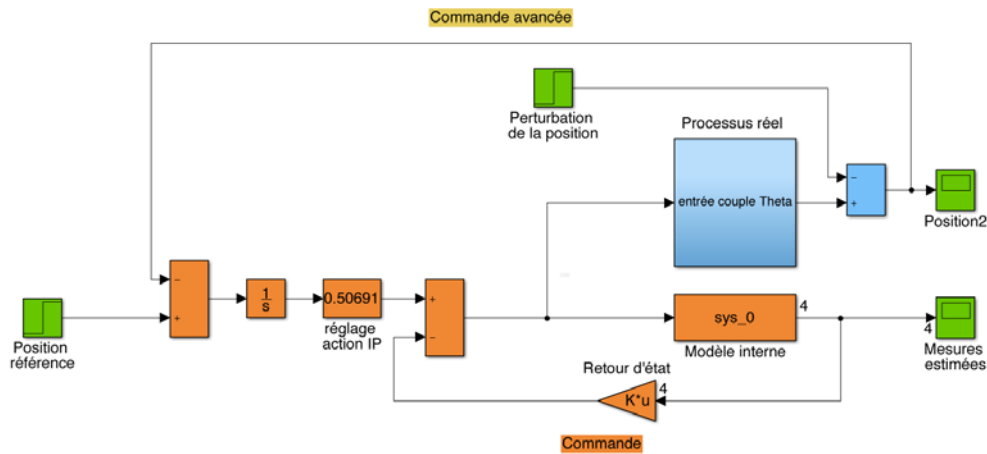


figure 5 – Le système corrigé à l'aide du modèle interne

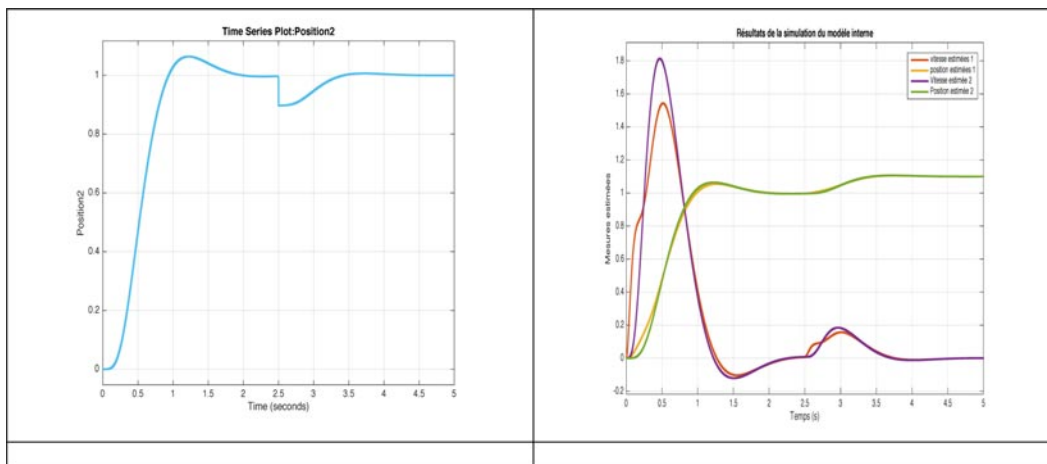


Figure 6 – Résultats de la simulation

## Conclusion

Les résultats de la commande par modèle interne, indiqués à la figure 6, sont conformes au cahier des charges, nous constatons qu'avec une commande indicielle le temps de montée est de  $t_r = 1s$  et il existe un dépassement de 10%. Au bout de  $T_p = 2.5s$ , nous avons introduit un échelon de perturbation sur la mesure réelle de position  $\theta_2$  et nous constatons que cette perturbation est rejetée grâce à une compensation renseignée par les capteurs virtuels. Bien entendu, la qualité des résultats est directement fonction de la qualité de l'estimation des paramètres du système. Face à une erreur d'identification, le système est relativement robuste. Dans le cas d'un système non linéaire, l'identification est plus difficile et la mise en place de la commande par modèle interne est plus compliquée, ce cas dépasse les objectifs de cet article.

## Bibliographie

- 0 - Formulaire de dérivée matricielle - <https://www.di.ens.fr/~fbach/courses/fall2009/formulaire.pdf>
- 1 - Le logiciel Matlab / Simulink
- 2 - La régulation industrielle – Jean-Marie Flaus – Edition Hermès
- 3 - Identification et commande des systèmes – Ioan Doré Landau – Edition Hermès
- 4 - L'automatique une approche moderne – Claude Bergmann – Formation de l'Académie de Reims

## TP CAPTEUR LOGICIEL

**Erik Etien**

Professeur IUT POITIERS, DUT Génie Electrique et Informatique Industriel et License Professionnel Gestion de l'Energie Electrique  
– Eco Efficacité Energétique

Le développement de capteurs virtuels mobilise un ensemble de compétences dans des champs disciplinaires variés. Dans l'exemple traité ici, un module de projet (ER3) a été mis en place pour des étudiants de DUT GEII en deuxième année. Ce projet permet de mobiliser des savoirs faits acquis dans les modules d'enseignement suivants :

- EN3 - Fonctions associées au Traitement et à la Transmission de l'Information
- MC-ETI - Machines à courant alternatif
- P3- Capteurs - Compatibilité électromagnétique
- III - Algorithmique, Programmation
- An2 - Communication en anglais général et professionnel

**Objectif du projet :** estimer la vitesse de rotation et la puissance mécanique et le couple utile d'une machine asynchrone sans mesure directe de la vitesse et du couple.

**Etape 1 :** Analyse d'un article rédigé en anglais décrivant les informations délivrées par un capteur vibratoire placé sur une machine asynchrone. L'article [1] est fourni aux étudiants, il leur est demandé de justifier que la vitesse de rotation fait partie des informations contenues dans le spectre vibratoire. Pour cela, ils doivent repérer le système d'équations suivant :

$$\begin{aligned} f_{v1} &= gS_r f_{rm} + k_1 f_e \\ f_{v2} &= gS_r f_{rm} + k_1 f_e \pm f_{rm} \\ f_{v3} &= gS_r f_{rm} + k_2 f_e \end{aligned}$$

avec :

$f_{v1}$  : fréquence de l'ondulation du couple et de la force radiale due aux harmoniques d'encoches au rotor.

$f_{v2}$  : fréquence due à l'excentricité du rotor.

$f_{v3}$  : fréquence due à la saturation du rotor.

$g$  : constante égale à 0, +/-1, +/-2...

$S_r$  : nombre d'encoche au rotor.

$f_{rm}$  : fréquence de rotation du rotor.

$f_e$  : fréquence électrique d'alimentation.

$k_1$  : constante égale 0 ou 2.

$k_2$  : constante égale 2 ou 4.

Les étudiants sont amenés à noter qu'en fixant  $g=0$  et  $k_l=0$  dans la seconde expression, on obtient  $f_{v2} = \pm f_{rm}$ . Par conséquent, le spectre du signal vibratoire d'un moteur présentant un défaut d'excentricité contient l'information vitesse de rotation. On notera que l'information recherchée n'est pas l'amplitude de la composante fréquentielle à  $f=f_{rm}$  mais la valeur exacte de  $f_{rm}$ . Ainsi, même en présence d'un défaut d'excentricité peu marqué, la localisation de cette fréquence reste possible.

**Etape 2 :** A partir d'un programme matlab fourni, il est demandé d'appliquer la FFT sur des signaux vibratoires fournis et de vérifier que la vitesse du moteur peut effectivement être mesurée indirectement.



**Étape 3 :** Il est demandé de montrer qu'il est possible d'approximer la courbe couple/vitesse d'une machine asynchrone dans la zone utile (Fig.1), par une droite. A partir de la plaque signalétique (Fig.2) d'une machine, il est demandé de calculer les paramètres de ce modèle simplifié.

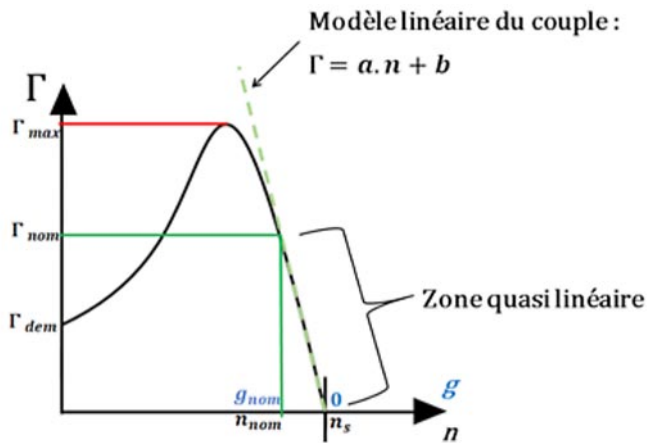


Fig.1 Caractéristique couple/vitesse

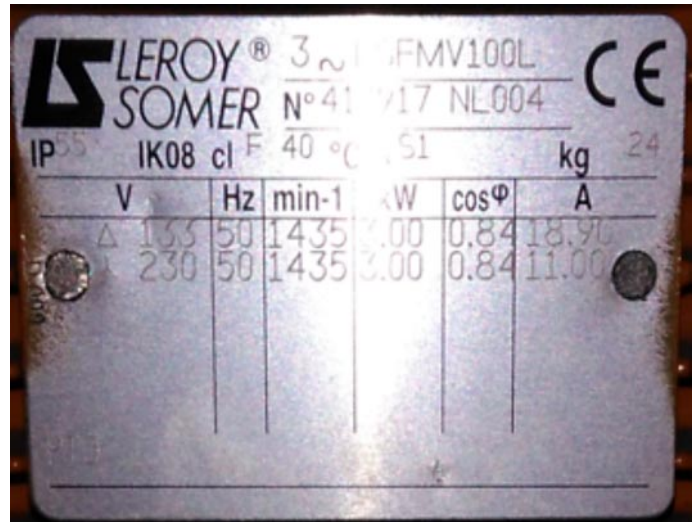


Fig.2 Plaque signalétique

**Étape 4 :** les moteurs de la salle de TP Electrotechnique sont équipés de capteurs vibratoires. Il est demandé de mettre en œuvre la méthodologie proposée, de comparer les résultats obtenus avec des mesures réelles (mécaniques et électriques) et de rédiger un rapport.

## A. Résultats expérimentaux

La salle de TP Electrotechnique est équipée de moteurs asynchrones 3kW-1500tr/mn et de charges actives pilotables en couple (Fig.3). Le moteur asynchrone est alimenté directement par le réseau. Il est amené à son point de fonctionnement nominal par la charge active.

La mesure vibratoire est acquise par un **oscilloscope METRIX DOX3104**. La FFT est visualisée autour de la fréquence de rotation nominale  $F_{nom}=1435/60=23.9\text{Hz}$ .

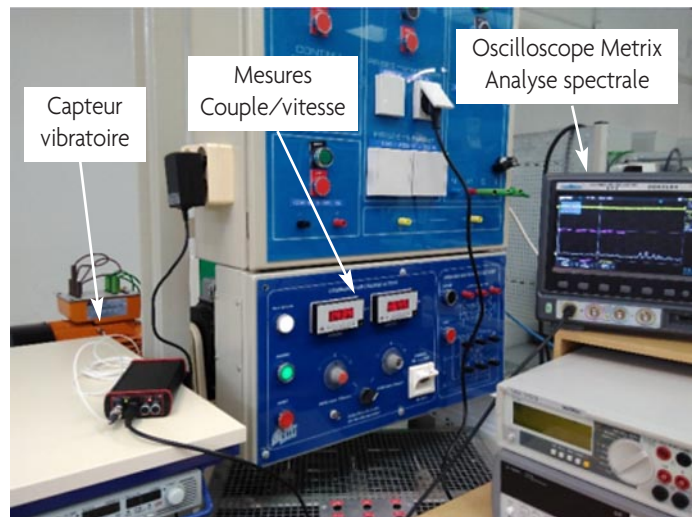


Fig.3 Banc expérimental

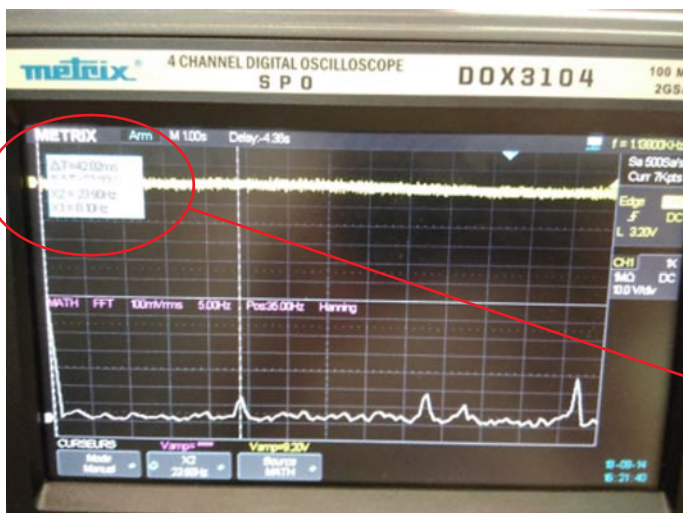


Fig.4 FFT du signal vibratoire

Acquisition du signal sur 20 secondes  
 Résolution fréquentielle  $DF=1/20=0.05\text{Hz}$   
 Fréquence de rotation mesurée  $F_{rot}=23.9\text{Hz}$   
 soit  $n=1435\text{ tr/mn}$



A partir de la plaque signalétique de la machine, le modèle linéaire est estimé. On prend en compte, pour cela, les deux points caractéristiques ( $n=n_s$ ,  $\Gamma=0$ ) et ( $n=n_{nom}$ ,  $\Gamma=\Gamma_{nom}$ ). Le couple nominal est calculé à partir de la plaque signalétique :  $\Gamma_{nom} = \frac{30.P_{nom}}{\pi.N_{nom}} = 20N.m$  avec  $n_{nom}=1435$  tr/mn et  $P_{nom}=3000W$ . L'équation à déterminer est la suivante :

$$\Gamma = a.n + b, \text{ avec } a = -0,3071 \text{ et } b = 460,7.$$

A partir de cette équation et de la mesure de vitesse on détermine le couple mécanique et la puissance mécanique. Il est en outre possible de remonter à la puissance électrique consommée si le rendement de la machine est connu (ce qui est le cas avec les nouvelles normes concernant les plaques signalétiques).

## Conclusions

Cette séquence pédagogique permet d'illustrer le principe des capteurs virtuels sur un exemple trivial. Elle met en œuvre un ensemble de savoirs faire dans des domaines variés et permet d'engager la réflexion sur la notion de modélisation. En effet, il est aisé de montrer les limites du modèle utilisé ici en faisant par exemple varier le point de fonctionnement du moteur ou d'interroger les étudiants sur les modifications à apporter si la machine est alimentée par un variateur. Ces capteurs sont utilisés dans un grand nombre de domaines en maintenance préventive et management de l'énergie [2], [3], [4].

## Références

- [1] Dezheng Wu, and Steven D. Pekarek, Using Mechanical Vibration to Estimate Rotor Speed in Induction Motor Drives, 2007 IEEE Power Electronics Specialists Conference.
- [2] Sami NAJAR, Jean-François Tissier, Sébastien CAUET, Erik ETIEN, Improving Thermal Model for Oil Temperature Estimation in Power Distribution Transformers, Applied Thermal Engineering (Elsevier), 2017.
- [3] Erik ETIEN, Laurent RAMBAULT, Sébastien CAUET, Anas Sakout, Soft sensor design for mechanical fault detection in PMSM at variable speed, Measurement (Elsevier), vol. 94, 2016, pp. 326-332.
- [4] Anne Grau, Gilbert Schmitt, Frédéric Lecoche, Lionel Duvillaret, Gwenaél Gaborit, Menad Bourkeb, Charles Joubert, Olivier Ondel, Hamed Yahoui, Riccardo Scoretti, Laurent Morel, Baya Hadid, Régis Ouvrad, Thierry Poinot, Erik Etien, Laurent Le Brusquet, Low cost power and flow rates measurements for manufacturing plants, International Congress of Metrology (Metrology2013), 2013



## “ CONCOURS GÉNÉRAL DE LA MAINTENANCE DES VÉHICULES ”

*François Verhoeven*

*Professeur Lycée Alfred de Mongny -  
Marcq-en-Barœul*

Les 23 et 24 mai dernier se sont déroulées les **épreuves du concours général des métiers de la maintenance des véhicules automobiles**. Le concours était organisé pour la troisième année consécutive dans l'académie de Lille par les équipes du lycée professionnel Alfred Mongy de Marcq-en-Barœul.



*Les 8 finalistes et les membres du jury.*

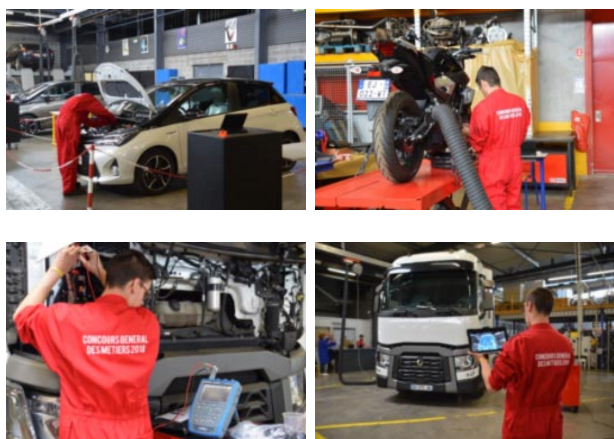
Les **8 finalistes nationaux**, sélectionnés après avoir effectué une épreuve écrite de six heures, étaient présents. 283 candidats originaires de la France entière ont planché sur des sujets traitant les trois types de véhicules, automobiles, les motos et les camions.

Les **8 finalistes** ont donc participé aux épreuves pratiques axées autour de la mécanique, la panne électrique et également leur rapidité à corriger une panne sur un véhicule. **Cinq épreuves** ont permis aux candidats d'appréhender différentes facettes du métier de mécanicien.

Une épreuve « intervention mécanique » sur deux Toyota Yaris, une épreuve « diagnostic électrique » sur deux camions Renault Trucks, une épreuve « diagnostic mécanique-réglages » sur deux motos Yamaha, une épreuve « intervention-maintenance-chrono » sur une Peugeot 3008 et enfin une épreuve « réception-organisation APV ».

Les épreuves sont désormais entièrement dématérialisées, les élèves travaillent sur tablettes. Leurs résultats sont directement enregistrés et transmis par ordinateur aux membres du jury composé d'enseignants et de professionnels du secteur de la maintenance de véhicules.

Les élèves ont également pu utiliser les derniers outils technologiques disponibles sur le marché, notamment grâce à une tablette permettant d'employer la réalité augmentée, développée par notre partenaire : l'entreprise DIOTA. Le camion est scanné et il devient possible de voir le moteur en virtuel sur la tablette. Cela permet aux candidats de trouver la place de chaque composant du moteur pendant le diagnostic et de mieux cerner la panne.



**Les lauréats des 18 spécialités du CGM ont été invités à une cérémonie organisée par le ministre de l'Education nationale, Jean-Michel Blanquer, en juillet à Paris.**

### CHAUVIN ARNOUX PARTENAIRE DE L'ÉPREUVE DE DIAGNOSTIC ÉLECTRIQUE DU CGM MV

L'épreuve de diagnostic électrique du CGM MV a permis de développer un partenariat avec l'entreprise **CHAUVIN ARNOUX**, spécialisé dans la mesure physique.

Cette épreuve sur camion a intégré des mesures que le candidat doit effectuer avec des outils actuels afin de confirmer la défaillance.

Outre la méthodologie de diagnostic, les savoir-faire liés à l'utilisation de ces outils sont primordiaux. Les outils utilisés sont principalement l'interface de diagnostic véhicule, le multimètre et l'oscilloscope.



## Intérêt transversal

En formation, l'oscilloscope sert à montrer en réel ce qui se passe à l'intérieur des fils. En effet, il ne suffit pas d'expliquer au tableau un signal pour le faire comprendre, un relevé par une expérimentation aura plus d'impact sur les apprenants. De plus, ce relevé peut servir d'entrée pour une exploitation par l'enseignant en charge des mathématiques-sciences physiques, en créant ainsi un véritable lien de transversalité. La transversalité des enseignements permet de donner une unité au diplôme visé, et vient donner du sens aux matières d'enseignement général.

## Utilisation du SCOPIX 4 lors du CGM MV

L'oscilloscope utilisé pour les épreuves est un oscilloscope portable SCOPIX 4 voies à masses séparées avec OS intuitif. Cet oscilloscope présente deux avantages majeurs :

### 1/ Quatre voies séparées, ergonomie portative, pointes de mesures variées :

Développé pour la mesure physique, cet outil est capable d'afficher quatre signaux venant de sources différentes sans « s'auto-parasiter ». En effet l'environnement de mesure d'un véhicule est soumis à différentes contraintes, allumage haute tension, connectivité du véhicule, source de chaleur, pollutions chimiques, sonores ou mécaniques sont autant de « bruit » qui peuvent perturber la mesure...

L'ergonomie portative simple est donc à privilégier par rapport aux oscilloscopes classiques de laboratoire.

Un véhicule intègre électriquement plusieurs « points zéro » de mesure, tels que la masse, les alimentations stabilisées intégrées aux calculateurs, des moteurs pas à pas, des réseaux. Les masses séparées des quatre voies de cet oscilloscope seront donc adaptées à cet environnement particulier. Les quatre voies sont également importantes pour observer des événements interdépendants. La gestion du moteur thermique, par exemple, rassemble différents signaux ayant des relations. On peut afficher, par exemple, le signal capteur régime moteur/PMH, celui du capteur de rotation d'arbre à cames, le signal d'injecteur et enfin la commande de l'allumage pour illustrer un TP sur l'ensemble du cycle quatre temps.



### 2/Menu OS intuitif, système d'exploitation par arborescence :

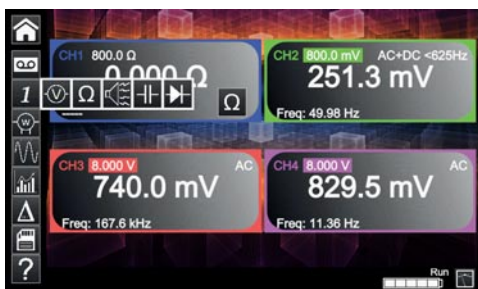
Le **SCOPIX 4** intègre une fonction « SCREENSHOTS », IMPRIMECRAN, qui permettra aux professeurs de nourrir une base de données de comparaison de signaux. En effet, le professeur peut préparer son intervention en enregistrant des photos d'écran et les nommer dans une arborescence. Les élèves pourront ainsi utiliser cette base comme document ressource pour comparer leurs relevés à celui de la base.

Il intègre également des « SET UP » programmables. Cette fonction est un pré-enregistrement des réglages de l'oscilloscope. Le professeur peut pré-calibrer toutes les voies et nommer un fichier dans l'arborescence pour que l'élève puisse les retrouver. L'utilisation est donc facilitée, la prise en main est accélérée.

L'arborescence est simple et intuitive, exactement comme sur un PC.

Toutes ces configurations sont enregistrées sur une carte SD, il est donc possible de les partager sur un autre SCOPIX 4.

Un didacticiel a été développé pour le CGM MV. Celui-ci avait été remis au candidat sous forme de document de guidance A3 plastifié.



EDUSCOL (ministère de l'éducation nationale) :

[http://eduscol.education.fr/sti/ressources\\_pedagogiques/methodologie-de-diagnostic-dun-systeme-pilote-en-maintenance-des-vehicules](http://eduscol.education.fr/sti/ressources_pedagogiques/methodologie-de-diagnostic-dun-systeme-pilote-en-maintenance-des-vehicules)





E-Mail : [info@leclubdumesurage.com](mailto:info@leclubdumesurage.com)  
[www.leclubdumesurage.com](http://www.leclubdumesurage.com)